职场金钥匙

数控机床电气及 PLC 控制技术

张华宇　谢凤芹　丁鸿昌　陈毕胜　编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

内 容 简 介

本书以培养技能型人才为目标，从应用角度出发介绍数控机床电气与 PLC 控制技术。主要包括绪论、数控机床常用低压电器、数控机床电气控制基础、PLC 编程入门及指令系统、数控机床 PLC 控制系统设计、典型机床电气控制技术、数控机床电气及 PLC 控制技术项目训练实例等内容。

本书既有数控机床电气和 PLC 控制方面的基本内容，又有相关控制技术和程序设计，还有项目实训等内容。在编写过程中注意循序渐进，内容由浅入深；注重理论和实践的结合，各章均配有一定数量的习题，使读者在掌握基本理论知识的同时，提高分析问题和动手的能力。

本书可作为高等工科院校机械制造、机电一体化学生学习数控技术的教材，也可作为高等职业技术学院相关专业教材，还可供有关教师与工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床电气及 PLC 控制技术 / 张华宇等编著. —北京：电子工业出版社，2010.3
职场金钥匙
ISBN 978-7-121-10275-2

Ⅰ. 数…　Ⅱ. 张…　Ⅲ. ①数控机床—电气控制 ②可编程序控制器　Ⅳ. TG659　TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 013300 号

策划编辑：张　剑（zhang@phei.com.cn）
责任编辑：徐　萍
印　　刷：北京智力达印刷有限公司
装　　订：北京中新伟业印刷有限公司
出版发行：电子工业出版社
　　　　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编　100036
开　　本：787×1 092　1/16　印张：17.5　字数：448 千字
印　　次：2010 年 3 月第 1 次印刷
印　　数：4 000 册　　定价：33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前　　言

本书的编写宗旨是通过介绍数控机床电气和 PLC 控制技术及应用问题，培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书在编写中力求通俗易懂、理论联系实际、注重应用。从数控机床常用电器基础知识入手，由浅入深，逐步介绍数控机床常用低压电器、PLC 编程入门、数控机床电气控制、机床电气与 PLC 控制技术的结合、机床 PLC 控制系统的设计和大量机床 PLC 控制技术的项目实训等内容。每一章后都配有适量的习题，帮助读者掌握相关的知识点；特别加强了实践训练部分的内容，能够让读者更好地将理论联系实际，掌握本书的知识。

本书以国内广泛使用的三菱公司 FX 系列 PLC 为背景，介绍 PLC 的工作原理、特点、编程元件与指令系统，并从工程应用的角度出发，详细介绍梯形图程序的常用设计方法、PLC 系统设计方法、PLC 在实际应用中应注意的问题。

本书第 1 章主要介绍数控机床的发展过程及发展动向，使读者对数控机床有一个初步的了解和掌握；第 2 章介绍常用低压电器的工作原理、基本结构等知识；第 3 章介绍电机伺服系统的工作原理及控制方式、电气原理图的绘制等内容；第 4 章介绍 PLC 基本编程方法和梯形图绘制；第 5 章介绍数控机床 PLC 系统设计与控制的应用实例；第 6 章介绍几种典型数控机床电气控制电路的设计实例与分析；第 7 章是综合的机床电气与 PLC 控制的项目实训。

本书由张华宇、谢凤芹、丁鸿昌和陈毕胜编著。张华宇编写本书的第 3、5 章和附录，谢凤芹编写本书的第 1、2 章，丁鸿昌编写本书的第 4、7 章，陈毕胜编写本书第 6 章。其他参加编写工作的还有管殿柱、孙海燕、路娟、宋一兵、王献红、李文秋、张轩等。

由于作者水平有限，加之数控技术的发展日新月异、许多问题还有待于探讨，书中难免有不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编 著 者

2009 年 10 月

目　　录

第 1 章　绪论 ······ 1

1.1 数控机床的组成与分类 ······ 1

1.1.1 数控机床简介 ······ 1

1.1.2 数控机床的组成 ······ 2

1.1.3 数控机床的分类 ······ 3

1.2 机床数控技术的发展过程 ······ 7

1.2.1 数控机床的产生和发展 ······ 8

1.2.2 数控机床的发展动向 ······ 8

1.2.3 我国数控机床的发展情况 ······ 8

1.3 本章小结 ······ 9

1.4 思考与练习 ······ 10

第 2 章　数控机床常用低压电器 ······ 11

2.1 低压电器的电磁机构及执行机构 ······ 11

2.1.1 电磁机构 ······ 11

2.1.2 触头系统 ······ 12

2.1.3 灭弧系统 ······ 13

2.2 开关电器 ······ 14

2.2.1 低压刀开关 ······ 14

2.2.2 组合开关 ······ 15

2.2.3 低压断路器 ······ 16

2.3 熔断器 ······ 17

2.3.1 熔断器的种类 ······ 17

2.3.2 熔断器的工作原理 ······ 18

2.3.3 熔断器的主要参数 ······ 19

2.4 主令电器 ······ 19

2.4.1 控制按钮 ······ 20

2.4.2 行程开关 ······ 20

2.4.3 万能转换开关 ······ 21

2.4.4 主令开关 ······ 22

2.5 接触器 ······ 22

2.5.1 接触器的结构和工作原理 ······ 22

2.5.2 接触器的主要技术参数和型号含义 ······ 23

2.6 继电器 ······ 26

2.6.1 电压、电流继电器 26
2.6.2 时间继电器 26
2.6.3 中间继电器 28
2.6.4 热继电器 29
2.6.5 速度继电器 30
2.6.6 固态继电器 30
2.7 执行电器 31
2.7.1 电磁铁 31
2.7.2 电磁离合器 32
2.8 本章小结 34
2.9 思考与练习 35
第 3 章 数控机床电气控制基础 36
3.1 步进电动机伺服系统及其控制 36
3.1.1 步进电动机的基本类型 36
3.1.2 步进电动机位置控制系统 38
3.1.3 步进电动机驱动电路 40
3.1.4 步进电动机的特性 41
3.2 直流伺服电动机调速系统及其控制 42
3.2.1 直流伺服电动机的结构及调速 43
3.2.2 直流伺服电动机的机械特性 43
3.2.3 直流伺服电动机的特点及应用 44
3.3 交流伺服电动机调速系统及其控制 44
3.3.1 交流伺服电动机的分类及结构 44
3.3.2 交流伺服电动机的接线 45
3.3.3 交流伺服电动机的运行特性 45
3.4 数控机床电气原理图的画法规则 46
3.4.1 电气原理图 46
3.4.2 电气安装图 48
3.4.3 电气接线图 48
3.4.4 图面区域的划分 49
3.5 数控机床电气控制的逻辑表示 49
3.6 电气控制基本环节 50
3.6.1 三相笼型异步电动机的直接启动控制线路 50
3.6.2 三相笼型异步电动机的降压启动控制线路 52
3.6.3 电动机正反转控制线路 54
3.6.4 电动机制动控制线路 55
3.6.5 双速电动机的高低速控制线路 58
3.6.6 电动机的保护环节 59
3.6.7 电液联合控制 60

3.7 机床电气控制线路应用示例 ······62
3.7.1 C650 型卧式车床的电气控制线路 ······62
3.7.2 X62W 型万能升降台铣床的电气控制线路 ······66
3.8 Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路 ······70
3.9 T68 型卧式镗床的电气控制线路 ······73
3.10 M7120 型平面磨床的电气控制线路 ······77
3.10.1 平面磨床的结构与控制特点 ······77
3.10.2 控制电路工作原理 ······79
3.10.3 电磁吸盘充、退磁电路的改进 ······80
3.11 组合机床电气控制系统 ······82
3.11.1 机械动力滑台控制线路 ······82
3.11.2 液压动力滑台控制线路 ······83
3.12 本章小结 ······85
3.13 思考与练习 ······86
第 4 章 PLC 编程入门及指令系统 ······87
4.1 PLC 概述 ······87
4.1.1 PLC 的基本结构 ······87
4.1.2 PLC 的物理结构 ······88
4.1.3 PLC 的工作原理 ······89
4.1.4 PLC 的特点 ······92
4.1.5 PLC 的应用领域 ······93
4.1.6 PLC 的主要生产厂家 ······94
4.2 FX 系列 PLC 性能简介 ······94
4.2.1 FX 系列 PLC 的特点 ······94
4.2.2 FX 系列 PLC 型号名称的含义 ······96
4.2.3 FX 系列 PLC 的一般技术指标 ······96
4.2.4 FX1S 和 FX1N 系列 PLC ······97
4.2.5 FX2N 系列 PLC ······97
4.2.6 编程设备与人机接口 ······99
4.2.7 GOT-900 图形操作终端 ······101
4.3 PLC 程序设计基础 ······101
4.3.1 PLC 编程语言的国际标准 ······101
4.3.2 梯形图的主要特点 ······103
4.4 FX 系列 PLC 梯形图中的编程元件 ······103
4.4.1 基本数据结构 ······103
4.4.2 输入继电器与输出继电器 ······104
4.4.3 辅助继电器（M） ······105
4.4.4 状态继电器（S） ······106
4.4.5 定时器（T） ······106

4.4.6 内部计数器（C） 108
4.4.7 高速计数器（HSC） 109
4.4.8 数据寄存器 111
4.4.9 指针 P/I 112
4.4.10 常数 112
4.5 FX 系列 PLC 的基本逻辑指令 113
4.5.1 LD，LDI，OUT 指令 113
4.5.2 触点的串、并联指令 113
4.5.3 LDP，LDF，ANDP，ANDF，ORP 和 ORF 指令 114
4.5.4 PLS 与 PLF 指令 114
4.5.5 电路块的串、并联指令 115
4.5.6 栈存储器与多重输出指令 115
4.5.7 主控与主控复位指令 MC，MCR 116
4.5.8 SET 与 RST 指令 117
4.5.9 取反、空操作与 END 指令 118
4.5.10 编程注意事项 118
4.6 PLC 的应用指令 119
4.6.1 FX 系列 PLC 应用指令的表示方法与数据 120
4.6.2 程序流控制指令 122
4.6.3 与中断有关的指令 124
4.6.4 循环指令 125
4.6.5 比较与传送指令 126
4.6.6 算术运算与字逻辑运算指令 129
4.6.7 移位指令 130
4.6.8 数据处理指令 131
4.6.9 处理指令 132
4.6.10 方便指令 134
4.6.11 外部 I/O 设备指令 136
4.6.12 FX 系列外部设备指令 141
4.6.13 浮点数运算指令 144
4.6.14 时钟运行指令 145
4.6.15 其他指令 147
4.7 PLC 应用系统的设计调试方法 148
4.7.1 系统规划与设计 148
4.7.2 PLC 及其组件的选型 149
4.7.3 硬件、软件设计与调试 151
4.8 本章小结 153
4.9 思考与练习 153

第 5 章　数控机床 PLC 控制系统设计 155
5.1　数控机床 PLC 系统设计及调试 155
5.1.1　PLC 系统的设计原则与步骤 156
5.1.2　PLC 程序设计 157
5.1.3　PLC 调试 159
5.2　PLC 在数控机床中的应用实例 160
5.3　数控机床 PLC 控制应用实例 163
5.4　减少 I/O 点数的措施 166
5.5　提高 PLC 在数控机床控制系统中可靠性的措施 167
5.5.1　PLC 的安装 167
5.5.2　合理的安装与布线 167
5.5.3　必需的安全保护环节 168
5.5.4　冗余系统与热备用系统 170
5.6　PLC 控制系统的维护和故障诊断 171
5.6.1　PLC 控制系统的维护 171
5.6.2　PLC 的故障诊断 172
5.7　本章小结 173
5.8　思考与练习 173
第 6 章　典型机床电气控制技术 174
6.1　机床电气控制电路的设计 174
6.1.1　机床电气控制电路的设计方法与注意事项 174
6.1.2　机床电气控制电路的设计实例 178
6.2　数控机床电气控制电路设计原则 180
6.2.1　电气控制电路设计原则 180
6.2.2　数控系统功能的选择 181
6.3　数控机床电气设计的一般内容 181
6.4　TK1640 型数控车床电气控制电路 183
6.4.1　电气原理图的分析方法和步骤 183
6.4.2　TK1640 数控车床介绍 184
6.4.3　TK1640 数控车床的电气控制电路 185
6.5　XK714A 型数控铣床电气控制电路 189
6.5.1　XK714A 数控铣床介绍 189
6.5.2　XK714A 数控铣床的电气控制电路 191
6.6　本章小结 194
6.7　思考与练习 194
第 7 章　数控机床电气及 PLC 控制技术项目训练实例 195
7.1　三相异步电动机单方向启动、停止及点动控制 195
7.1.1　启动、停止控制线路 195
7.1.2　点动控制线路 196

7.1.3 多点控制线路 197
7.1.4 可逆运行控制线路 197
7.2 FX2N 系列 PLC 的硬件连接与基本指令练习 199
7.2.1 PLC 与电源连接 199
7.2.2 PLC 输入接口连接 199
7.2.3 PLC 输出接口连接 200
7.2.4 FX2N 系列 PLC 基本指令练习 202
7.3 PLC 控制异步电动机Y-△启动 211
7.3.1 异步电动机的启动方式 211
7.3.2 大电动机的Y-△启动控制 212
7.4 PLC 控制电动机循环正、反转 213
7.4.1 C650 车床控制元件配置 213
7.4.2 主电动机正、反转控制 216
7.4.3 主电动机点动控制 216
7.4.4 点动停止和反接制动 216
7.4.5 主电动机反接制动 217
7.4.6 实验设备及线路连接 218
7.5 C650 卧式车床的电气及 PLC 控制系统 219
7.5.1 C650 卧式车床的主要结构与运动分析 219
7.5.2 C650 卧式车床的电气控制线路分析 220
7.5.3 C650 卧式车床的 PLC 控制系统 222
7.6 Z3040 摇臂钻床的电气及 PLC 控制系统 225
7.6.1 Z3040 摇臂钻床的电气控制系统 225
7.6.2 Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系统 228
7.6.3 Z3040 摇臂钻床电气线路的故障与维修 231
7.6.4 Z3040 摇臂钻床电气模拟装置的试运行操作 232
7.6.5 Z3040 摇臂钻床电气控制线路故障及排除实训 233
7.7 T68 卧式镗床电气及 PLC 控制系统实训 236
7.7.1 T68 卧式镗床的实训内容 236
7.7.2 T68 卧式镗床电气线路的工作原理 237
7.7.3 电气控制线路的分析 239
7.7.4 T68 卧式镗床电气线路故障与维修 241
7.7.5 T68 卧式镗床电气模拟装置的试运行操作 242
7.7.6 T68 卧式镗床电气控制线路故障及排除实训 243
7.8 X62W 万能铣床电气及 PLC 控制系统实训 246
7.8.1 X62W 万能铣床的实训内容 246
7.8.2 X62W 万能铣床电气原理图 246
7.8.3 机床分析 246
7.8.4 X62W 万能铣床电气线路故障与维修 252
7.8.5 X62W 万能铣床模拟装置的安装与试运行操作 253

7.8.6 X62W 万能铣床电气控制线路故障及排除实训 …… 255
7.8.7 教学演示、故障图及设置说明 …… 257
7.9 本章小结 …… 258
7.10 思考与练习 …… 258
附表 A 电气设备常用基本文字符号 …… 259
附表 B FX 系列 PLC 功能指令一览表 …… 263
参考文献 …… 267

第 1 章　绪　　论

数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中，数控技术已成为核心技术之一，是实现柔性制造（Flexible Manufacturing，FM）、计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing，CIM）、工厂自动化（Factory Automation，FA）的重要基础技术之一。数控技术较早地应用于机床设备中，本书中的数控技术具体指机床数控技术。

【本章重点】

- 了解数控机床的产生；
- 熟悉数控机床的应用范围及组成；
- 熟悉数控机床的分类；
- 了解数控机床的发展趋势。

1.1　数控机床的组成与分类

1.1.1　数控机床简介

数字控制（Numerical Control），简称 NC，是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动控制技术。数字控制系统有如下特点：

① 可用不同的字长表示不同的精度信息，表达信息准确；

② 可进行逻辑、算术运算，也可进行复杂的信息处理；

③ 可不用改动电路或机械机构，通过改变软件来改变信息处理的方式过程，具有柔性化。

由于数字控制系统具有上述特点，故被广泛应用于机械运动的轨迹控制，如数控机床、工业机器人、数控线切割机、数控火花切割机等。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是指采用数字形式信息控制的机床。也就是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术，并把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图纸要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

下面可用图 1-1 来描述数控设备的一般形式。图中 A 为被加工工件的图纸，图纸上的数据大致分为两类：几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据（简称“指令”）。B 为控制介质（或程序介质、输入介质），通常用纸带、磁带、磁盘等作为记载指令的控制介质。C 为数据处理和控制的电路，通常是一台控制计算机。原始数据经过它处理后，变成伺服机构能够接收的位置指令和速度指令。D 为伺服机构（或伺服系统），可以把“控制计算机（C）”比拟为人的“大脑”，则“伺服机构（D）”相当于人的“手”和“足”，我们要求伺服机构无条件地执行“大脑”的意志。E 为数控设备。F 为加工后的物

件。这就是一般数控设备的工作过程，整个加工过程如图 1-2 所示。

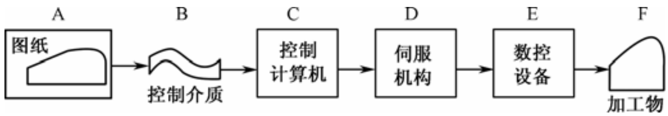


图 1-1　数控设备的一般形式

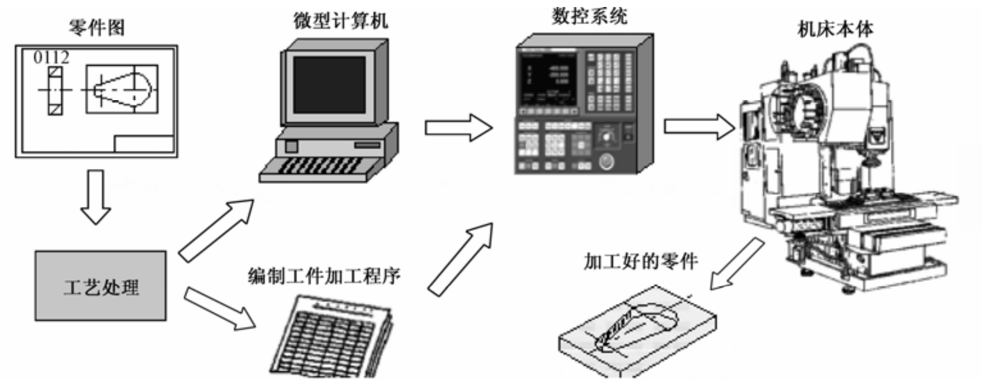


图 1-2　数控机床的工作过程

数控机床较好地解决了复杂、精密、小批、多变的零件加工问题，是一种灵活的、高效能的自动化机床，尤其对于约占机械加工总量 80%的单件、小批量零件的加工，更显示出其特有的灵活性。概括起来，采用数控机床有以下几方面的优点：

① 提高加工精度，尤其提高了同批零件加工的一致性，使产品质量稳定；

② 提高生产效率，一般提高效率 3～5 倍，使用数控加工中心机床则可提高生产效率 5～10 倍；

③ 可加工形状复杂的零件；

④ 减轻了劳动强度，改善了劳动条件；

⑤ 有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。

1.1.2　数控机床的组成

数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体组成。图 1-3 中实线所示为开环控制的数控机床框图。

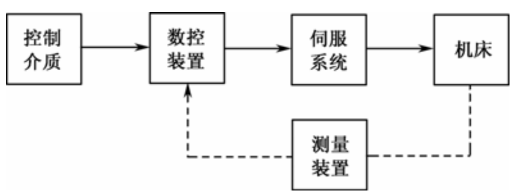


图 1-3　数控机床的组成

为了提高机床的加工精度，在上述系统中再加入一个测量装置（即图 1-3 中的虚线部分），这样就构成了闭环控制的数控机床框图。开环控制系统的工作过程是：将控制机床工作台运动的位移量、位移速度、位移方向、位移轨迹等参量通过控制介质输入给机床数控装置，数控装置根据这些参量指令计算得出进给脉冲序列（包含上述 4 个参量），然后经伺服

系统转换放大，最后控制工作台按所要求的速度、轨迹、方向和距离移动。若为闭环系统，则在输入指令值的同时，反馈装置将检测机床工作台的实际位移值，反馈量与输入量在数控装置中进行比较，若有差值，说明有误差，则数控装置控制机床向着消除误差的方向运动。

现结合数控机床的工作过程将各组成部分简述如下。

1．控制介质

数控机床工作时，不需要人工去摇手柄操作机床，而是自动地执行人们的意图，这就必须在人和数控机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物称为控制介质（或称程序介质、输入介质、信息载体）。

常用的控制介质是 8 单位的标准穿孔带，且常用的穿孔带是纸质的，所以又称纸带。其宽为 25.4mm，厚 0.108mm，每行除了必须有一个ϕ1.17mm 的同步孔外，最多可以有 8 个ϕ1.33mm 的信息孔。用每行 8 个孔有无的排列组合来表示不同的代码（纸带上孔的排列规定称为代码）。把穿孔带输入数控装置的读带机，再由读带机把穿孔带上的代码转换为数控装置可以识别和处理的电信号，并传送到数控装置中，便完成了指令信息的输入工作。

2．数控装置

数控装置是数控机床的中枢，在普通数控机床中一般由输入装置、存储器、控制器、运算器和输出装置组成。数控装置接收输入介质的信息，并将其代码加以识别、储存、运算，输出相应的指令脉冲以驱动伺服系统，进而控制机床动作。在计算机数控机床中，由于计算机本身即含有运算器、控制器等上述单元，因此该数控装置的作用由一台计算机来完成。

3．伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换为机床移动部件的运动，使工作台（或溜板）精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。

在数控机床的伺服系统中，常用的伺服驱动元件有功率步进电机、电液脉冲电动机、直流伺服电机和交流伺服电机等。

4．机床

数控机床中的机床，在开始阶段使用通用机床，只是在自动变速、刀架或工作台自动转位和手柄等方面作些改变。实践证明，数控机床除由于切削用量大、连续加工发热多等因素影响工件精度外，还因为是自动控制，在加工中不能像在通用机床上那样可以随时由人工进行干预，所以其设计要求比通用机床更严格，制造要求更精密。因而后来在数控机床设计时，采用了许多新的加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施，使数控机床的外部造型、整体布局、传动系统及刀具系统等方面发生了很大的变化。

1.1.3　数控机床的分类

目前，数控机床品种比较齐全，规格繁多，据不完全统计已有 400 多个品种规格，可以按照多种原则进行分类。但归纳起来，常见的是以下面 4 种方法来分类的。

1．按工艺用途分类

（1）一般数控机床

这类机床和传统的通用机床种类一样，有数控的车、铣、镗、钻、磨床等，而且每一种又有很多品种，如数控铣床中就有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。这类机床的工艺可能

性和通用机床相似，所不同的是它能加工复杂形状的零件。

（2）数控加工中心机床

这类机床是在一般数控机床的基础上发展起来的。它是在一般数控机床上加装一个刀库（可容纳 10～100 把刀具）和自动换刀装置而构成的一种带自动换刀装置的数控机床（又称多工序数控机床或镗铣类加工中心，习惯上简称为加工中心——Machining Center），这使数控机床更进一步地向自动化和高效化方向发展。

数控加工中心机床和一般数控机床的区别是：工件经一次夹装后，数控装置就能控制机床自动地更换刀具，连续地对工件各加工表面自动完成铣（车）、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。这类机床大多是以镗铣为主的，主要用来加工箱体零件。它和一般的数控机床相比具有如下优点：

① 减少机床台数，便于管理，对于多工序的零件只要一台机床就能完成全部加工，并可以减少半成品的库存量；

② 由于工件只需要一次装夹，因此减少了由于多次安装造成的定位误差，可以依靠机床精度来保证加工质量；

③ 工序集中，减少了辅助时间，提高了生产率；

④ 由于零件在一台机床上一次装夹就能完成多道加工工序，所以大大减少了专用夹具的数量，进一步缩短了生产准备时间。

由于数控加工中心机床的优点很多，深受用户欢迎，因此在数控机床生产中占有很重要的地位。

另外还有一类加工中心，是在车床基础上发展起来的，以轴类零件为主要加工对象，除可进行车削、镗削外，还可以进行端面和周面上任意部位的钻削、铣削和攻丝加工。这类加工中心也设有刀库，可安装 4～12 把刀具，习惯上称此类机床为车削中心（Turning Center，TC）。

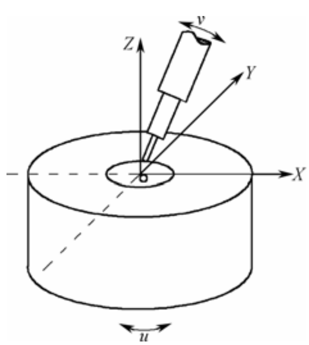


图 1-4　五轴联动的数控加工方式

（3）多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机曲面零件的加工等，需要三个以上坐标的合成运动才能加工出所需形状。于是出现了多坐标的数控机床，其特点是数控装置控制的轴数较多，机床结构也比较复杂，其坐标轴数通常取决于加工零件的工艺要求，现在常用的是 4，5，6 坐标的数控机床。图 1-4 所示为五轴联动的数控加工示意图。图中，X，Y，Z 三个坐标与转台的回转（u）、刀具的摆动（v）可同时联动，以加工机翼等类零件。

2．按运动轨迹分类

按照能够控制的刀具与工件间相对运动的轨迹，可将数控机床分为点位控制数控机床、直线控制数控机床、轮廓控制数控机床等。

（1）点位控制数控机床

这类机床的数控装置只能控制机床移动部件从一个位置（点）精确地移动到另一个位置（点），即仅控制行程终点的坐标值，在移动过程中不进行任何切削加工，至于两相关点之间的移动速度及路线则取决于生产率。为了在精确定位的基础上有尽可能高的生产率，两相关点之间的移动先是以快速移动到接近新的位置，然后降速 1～3 级，使之慢速

趋近定位点，以保证其定位精度。数控系统的点位控制方式如图 1-5（a）所示。

这类机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控测量机等，其相应的数控装置称为点位控制装置。

（2）直线控制数控机床

这类机床工作时，不仅要控制两相关点之间的位置（即距离），还要控制两相关点之间的移动速度和路线（即轨迹），其路线一般都由和各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于，当机床的移动部件移动时，可以沿一个坐标轴的方向（一般地也可以沿 45° 斜线进行切削，但不能沿任意斜率的直线切削）进行切削加工，而且其辅助功能比点位控制的数控机床多，例如，增加了主轴转速控制、循环进给加工、刀具选择等功能。数控系统的直线控制方式如图 1-5（b）所示。

这类机床主要有简易数控车床、数控镗铣床和数控加工中心等。相应的数控装置称为点位直线控制装置。

（3）轮廓控制数控机床

对一些数控机床，如数控铣床、加工中心等，要求能够对两个或两个以上运动坐标的位移和速度同时进行连续相关的控制，使刀具与工件间的相对运动符合工件加工轮廓的要求，具有这种运动控制的机床称为轮廓控制数控机床。该类机床在加工过程中，每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断的控制。

对于轮廓控制数控机床，根据同时控制坐标轴的数目可将其分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴和五轴联动。两轴联动同时控制两个坐标轴，实现二维直线、圆弧、曲线的轨迹控制；两轴半联动除了控制两个坐标轴联动外，还同时控制第三个坐标轴作周期性进给运动，可以实现简单曲面的轨迹控制；三轴联动同时控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴联动，实现曲面的轨迹控制；四轴或五轴联动除了控制 X、Y、Z 三个直线坐标轴外，还能同时控制一个或两个回转坐标轴，如工作台的旋转、刀具的摆动等，从而实现复杂曲面的轨迹控制。数控系统的轮廓控制方式如图 1-5（c）所示。

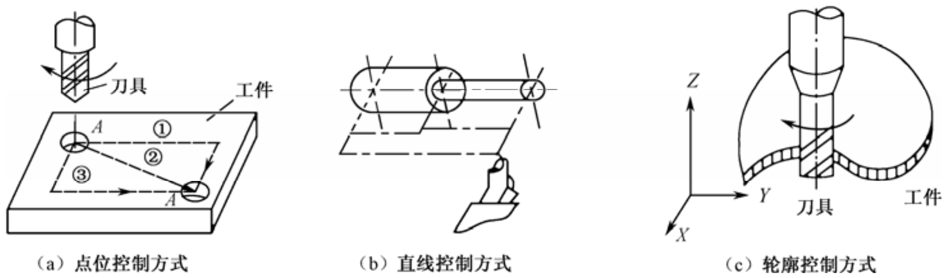


图 1-5　数控系统的运动控制方式

由于加工中心同时具有点位和轮廓控制功能，直线控制的数控机床又很少，因此按上述运动轨迹控制方式的分类方法在目前的数控机床之间很难给出明确的界限。

3．按伺服系统的控制方式分类

数控机床按照被控制量有无检测反馈装置可以分为开环和闭环两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置又可将其分为全闭环和半闭环两种。在开环系统的基础上，还发展了一种开环补偿型数控系统。

（1）开环控制数控机床

在开环控制中，机床没有检测反馈装置，如图 1-6 所示。

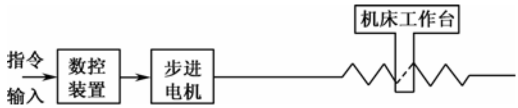


图 1-6　开环控制系统框图

数控装置发出信号的流程是单向的，所以不存在系统稳定性问题。也正是由于信号的单向流程，它对机床移动部件的实际位置不作检验，所以机床加工精度不高，其精度主要取决于伺服系统的性能。开环控制系统的工作过程是：输入的数据经过数控装置运算分配出指令脉冲，通过伺服机构（伺服元件常为步进电机）使被控工作台移动。

这种机床工作比较稳定、反应迅速、调试方便、维修简单，但其控制精度受到限制。它适用于一般要求的中、小型数控机床。

（2）闭环控制数控机床

由于开环控制精度达不到精密机床和大型机床的要求，所以必须检测它的实际工作位置，为此，在开环控制数控机床上增加检测反馈装置，在加工中时刻检测机床移动部件的位置，使之和数控装置所要求的位置相符合，以期达到较高的加工精度。

闭环控制系统框图如图 1-7 所示。图中 A 为速度测量元件，C 为位置测量元件。当指令值发送到位置比较电路时，若此时工作台没有移动，则没有反馈量，指令值使伺服电机转动，通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路，通过 C 将工作台实际位移量反馈回去，在位置比较电路中与指令值进行比较，用比较的差值进行控制，直至差值消除时为止，最终实现工作台的精确定位。这类机床的特点是精度高、速度快，但是调试和维修比较复杂。其关键是系统的稳定性，所以在设计时必须对稳定性给予足够的重视。该类机床还可以通用，因而灵活性和适应性强，也便于批量生产。

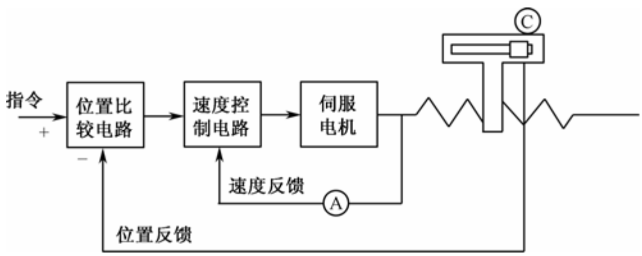


图 1-7　闭环控制系统框图

（3）半闭环控制数控机床

半闭环控制系统框图如图 1-8 所示。这种控制方式对工作台的实际位置不进行检查测量，而是通过与伺服电机有联系的测量元件，如测速发电机 A 和光电编码盘 B（或旋转变压器）等间接检测出伺服电机的转角，推算出工作台的实际位移量，再将此值与指令值进行比较，用差值来实现控制。从图 1-8 可以看出，由于工作台没有完全包括在控制回路内，因而称为半闭环控制。这种控制方式介于开环与闭环之间，精度没有闭环高，调试却比闭环方便。

（4）开环补偿型数控机床

将上述三种控制方式的特点有选择地集中起来，可以组成混合控制的方案。这在大型数控机床中是人们多年研究的题目，现在已成为现实。因为大型数控机床需要高得多的进给速度和返回速度，又需要相当高的精度，如果只采用全闭环的控制，机床传动链和工作台全

部置于控制环节中，因素十分复杂。为了避开这些矛盾，可以采用混合控制方式。在具体方案中它可分为两种形式：一种是开环补偿型，另一种是半闭环补偿型。这里仅介绍开环补偿型控制数控机床。

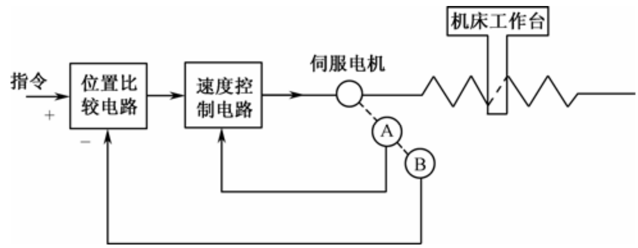


图 1-8　半闭环控制系统框图

图 1-9 所示为开环补偿型控制系统框图。它的特点是：基本控制选用步进电机的开环控制伺服机构，附加一个校正伺服电路，通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号，校正机械系统的误差。

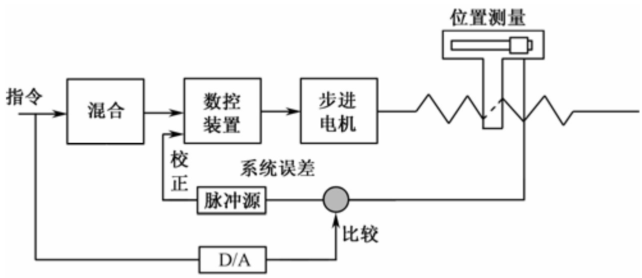


图 1-9　开环补偿型控制系统框图

4．按数控装置分类

数控机床若按其实现数控逻辑功能控制的数控装置来分，有硬线（件）数控和软线（件）数控两种。

（1）硬线数控（又称普通数控，即 NC）

这类数控系统的输入、插补运算、控制等功能均由集成电路或分立元件等器件实现。一般来说，数控机床不同，其控制电路也不同，因此系统的通用性较差；因其全部由硬件组成，所以功能和灵活性也较差。这类系统在 20 世纪 70 年代以前应用得比较广泛。

（2）软线数控（又称计算机数控或微机数控，即 CNC 或 MNC）

这类系统利用中、大规模及超大规模集成电路组成 CNC 装置，或用微机与专用集成芯片组成，其主要的数控功能几乎全由软件来实现，对于不同的数控机床，只需编制不同的软件即可，而硬件几乎可以通用，因而灵活性和适应性强，也便于批量生产。其模块化的软、硬件，提高了系统的质量和可靠性，所以，现代数控机床都采用 CNC 装置。

1.2　机床数控技术的发展过程

数控机床综合应用了自动控制、计算机、微电子、精密测量和机床结构等方面的最新成就。40 多年来，随着科学技术的发展，机床数控技术也经历了数代的变化，当前又出现

了一些新的发展动向，下面就来探讨这些问题。

1.2.1　数控机床的产生和发展

从 1952 年至今，数控机床按照控制机的发展，已经历了 5 代。

1959 年之前，属于数控系统的第一代。

1959 年，由于在计算机行业中研制出晶体管元件，因而在数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板，从而使数控系统跨入了第二代。

1965 年，出现小规模集成电路，由于它体积小、功耗低，使数控系统的可靠性得以进一步提高，数控系统发展到第三代。

以上 3 代系统，都是采用专用控制计算机的硬接线数控系统，称为硬线系统，统称为普通数控系统（NC）。

随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降，激烈地冲击着市场。数控系统的生产厂家认识到，采用小型计算机来取代专用控制计算机，经济上是合算的，许多功能可以依靠编制专用程序存在计算机的存储器中，构成所谓控制软件而加以实现，从而提高系统的可靠性和功能。这种数控系统，称为第四代系统，即计算机数控系统（CNC）。

但是，计算机技术的发展是日新月异的，就在 1970 年前后，美国英特尔（Intel）公司开发和使用了四位微处理器，微处理芯片渗透到各个行业，数控技术也不例外。我们把以微处理机技术为特征的数控系统称为第五代系统（MNC）。

1.2.2　数控机床的发展动向

从数控系统的发展来看，数控机床已发展了 5 代。在实际应用中，除了机床行业之外，数控技术还应用在其他部门，产生了各种数控设备。最初，人们考虑的是在一台设备上如何提高自动化程度。例如，增加控制坐标轴的个数，如多轴数控系统（目前世界上的数控系统，最多控制的是 24 轴）；又如，在一台设备上实现多工序自动控制，加工中心就是一台多工序数控机床，在一台机床上可以实现车、铣、钻、镗、攻丝等多种功能。后来，人们发现电子计算机处理数据的速度比数控设备的加工速度快，利用一台计算机可控制多台数控设备，这就是习惯上所称的群控系统或直接数控系统（DNC）。

当前，国内外在数控装置、机床结构等的研究与开发方面不断取得成果，数控系统的水平和功能也日臻提高和完善，出现了新的发展特点。主要有：

① 主控机向着多位的微处理机化方向发展；

② 数控装置向着集成化和智能化的方向发展；

③ 数控系统采用模块化结构；

④ 数控编程更加图形化和自动化；

⑤ 数控系统更加可靠和宜人化。

在数控机床的结构方面，一是其驱动装置正向交流和数字化的方向发展；二是机床床体部分的设计和制造不断选用新的材料；三是其加工刀具等辅助工具的材料引人注目。

1.2.3　我国数控机床的发展情况

我国从 1958 年开始研究数控机械加工技术，60 年代针对壁锥、非圆齿轮等复杂形状的工件研制出了数控壁锥铣床、数控非圆齿轮插齿机等设备，保证了加工质量，减少了废品，提高了效率，取得了良好的效果。

20 世纪 70 年代针对航空工业等加工复杂形状零件的急需，从 1973 年以来组织了数控机床攻关会战，经过 3 年努力，到 1975 年已试制生产了 40 多个品种 300 多台数控机床。据国家统计局的资料，从 1973～1979 年，7 年内全国累计生产数控机床 4 108 台（其中约 3/4 以上为数控线切割机床）。从技术水平来说，我国大致已达到国外 60 年代后期的技术水平。为了扬长避短，解决用户急需并争取打入国际市场，1980 年前后我国采取了暂时从国外（主要是从日本和美国）引进数控装置和伺服驱动系统，为国产主机配套的方针，几年内大见成效。1981 年，我国从日本 FANUC 公司引进了 5，7，3 等系列的数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机技术，并在北京机床研究所建立了数控设备厂，当年年底开始验收投产，1982 年生产约 40 套系统，1983 年生产约 100 套系统，1985 年生产约 400 套系统，伺服电机与主轴电机也配套生产。这些系统是国外 70 年代的水平，功能较全，可靠性比较高，这样就使机床行业发展数控机床有了可靠的基础，使我国的主机品种与技术水平都有较大的发展与提高。1982 年，青海第一机床厂生产的 XHK754 卧式加工中心，长城机床厂生产的 CK7815 数控车床，北京机床研究所生产的 JCS018 立式加工中心，上海机床厂生产的 H160 数控端面外圆磨床等，都能可靠地进行工作，并陆续形成了批量生产。1984 年仅机械工业部门就生产数控机床 650 台，全国当年总产量为 1 620 台，已有少数产品开始进入国际市场，还有几种合作生产的数控机床返销国外。1985 年，我国数控机床的品种已有了新的发展，除了各类数控线切割机床以外，其他各种金属切削机床（如各种规格的立式、卧式加工中心，立式、卧式数控车床，数控铣床，数控磨床等），也都有了很大的发展，新品种总计 45 种。到 1989 年年底，我国数控机床的可供品种已超过 300 种，其中数控车床占 40%，加工中心占 27%。

目前，我国除设计与生产常规的数控机床（包括 MNC 系统的车、铣、加工中心机床等）外，还生产出了柔性制造系统。1984 年北京机床研究所研制成功了 FMC-1 和 FMC-2 柔性加工单元，之后又开始了柔性制造系统的开发工作，并与日本 FANUC 公司合作，在北京机床研究所内建立了第一条柔性制造系统（JCS-FMC-1 型），用于加工直流伺服电机的轴类、法兰盘类、刷架体类和壳体类的 14 种零件。近年来，依靠我国科技人员的努力，已先后研制成功并在北京、长春等地安装使用了 FMS。这一切说明，我国的机床数控技术已经进入了一个新的发展时期。预计在不远的将来，我国将会赶上和超过世界先进国家的水平。

1.3 本章小结

本章引入了数控机床的一些基本概念，列出了数控机床输入的一些常用标准，同时也概述了数控机床的产生和发展历程。

通过本章的学习，应当明确以下几点：

① 数控机床的核心问题是如何用数字代码的方式记载、输入并控制机床工作台移动的距离、方向、轨迹和速度。数控机床一般由控制介质、数控装置、伺服系统、机床和测量反馈装置等组成。在 CNC 和 MNC 系统中，数控装置的功能由一台计算机（或微机）来实现。

② 数控机床可以按多种方式进行分类。若按工艺用途分类，可将其分为一般数控机床、数控加工中心机床、多坐标机床等；若按加工路线分类，则可以分为点位控制、直线控制和轮廓控制的数控机床；若按测量装置的有无及位置分类，可分为开环、闭环和半闭环等系统；还可以按数控装置分类，分为普通数控（NC）机床、计算机数控（CNC）机床和微

处理机数控（MNC）机床等。

1.4 思考与练习

1．什么是数控技术？它有哪些特点？

2．数控机床由哪些部分组成？各组成部分有什么功能？

3．什么叫开环、闭环、半闭环系统？它们之间有什么区别？

4．什么叫点位控制、直线控制和轮廓控制？它们的主要特点与区别是什么？

5．加工中心与其他数控机床相比有什么特点？

第 2 章　数控机床常用低压电器

数控机床常用低压电器是指根据外界的信号和要求，自动或手动接通或断开电路，断续或连续地改变电路参数，以实现对电路或非电路对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节的电气设备。

低压电器是指用于交流 50Hz 额定电压 1 200V 以下，直流额定电压 1 500V 以下的电路中，能根据外界的信号和要求，手动或自动地接通、断开电路，实现对电控或非电控对象的切换、控制、保护、检测和调节的元件或设备。

低压电器是用电企业中的重要设备，在供、用电中处于极为重要的地位，是保证配电网安全、可靠、经济运行和人身安全及人们生产和生活用电的关键设备。

低压电器按用途可分为以下几类。

① 低压配电电器：主要用于低压供电系统。这类低压电器有刀开关、断路器、隔离开关、转换开关及熔断器等。对这类电器的主要技术要求是分断能力强，限流效果好，动态稳定性及热稳定性能好。

② 低压保护电器：主要用于对电路和电气设备进行安全保护的电器。这类低压电器有热继电器、安全继电器、电压继电器、电流继电器、避雷器等。

③ 低压主令电器：主要用于发送控制指令的电器。这类电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等。

④ 低压控制电器：主要用于电力拖动控制系统。这类低压电器有接触器、继电器、控制器等。

⑤ 低压执行电器：主要用于执行某种动作和传动功能的电器。这类低压电器有电磁铁、电磁离合器等。

【本章重点】

- 了解常用低压电器的用途和基本结构;
- 掌握常用低压电器的工作原理、图形和文字符号;
- 掌握常用低压电器的参数及工作性能;
- 能根据控制要求正确选择低压电器。

2.1　低压电器的电磁机构及执行机构

从结构上看，电器一般都有两个基本的组成部分，即感测部分与执行部分。感测部分接收外界输入的信号，使执行部分动作，实现控制的目的。对于有触点的电磁式电器，感测部分大都是电磁机构，而执行部分则是触头系统。

2.1.1　电磁机构

电磁机构的作用是将电磁能转换为机械能，并将电磁机构中吸引线圈的电流转换成电磁力，带动触头动作，完成通断电路的控制作用。

电磁机构由线圈、铁芯（也称静铁芯）和衔铁（或称动铁芯）等几部分组成。其工作

原理为：当线圈通入电流后，磁通通过铁芯、衔铁和气隙形成闭合回路，衔铁受电磁吸力的作用吸向铁芯，衔铁同时又受弹簧拉力的作用，电磁吸力克服弹簧的拉力，使得衔铁与铁芯闭合，由连接机构带动相应的触头动作。

铁芯的形状有 E 形和 U 形两种，其动作方式有拍合式和直动式两种。图 2-1（a）为衔铁沿棱角转动的拍合式铁芯，其铁芯材料由电工软铁制成，它广泛用于直流电器中；图 2-1（b）为衔铁沿轴转动的拍合式铁芯，其铁芯材料由硅钢片叠成，多用于触头容量较大的交流电器中；图 2-1（c）为衔铁作直线运动的双 E 形直动式铁芯，它也是由硅钢片叠制而成的，多用于触头为中、小容量的交流接触器和继电器中。

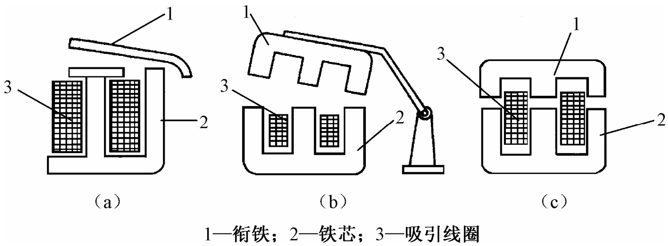


图 2-1　常用的磁路结构

电磁线圈由漆包线绕制而成，分为交流和直流两类。当线圈通入工作电流时，产生足够的磁动势，从而在磁路中形成磁通，使衔铁获得足够的电磁力，克服弹簧的反作用力而吸合。

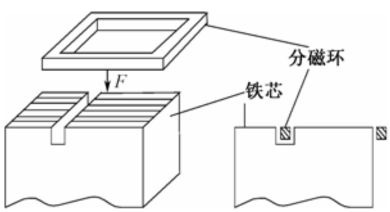


图 2-2　短路环

需注意的是，当线圈中通入交流电流而产生交变磁场，在该磁场中，为避免因磁通过零点造成衔铁的抖动，需在交流电器铁芯的端部开槽，嵌入一个铜短路环（又称分磁环，见图 2-2），使环内感应电流产生的磁通与环外磁通不同时过零，从而使电磁吸力 F 总是大于弹簧的反作用力，这样就可以消除交流铁芯的抖动。

在上面的介绍中，电磁机构的作用是使触头实现自动化操作。实质上电磁机构就是电磁铁的一种。当然电磁铁还有很多其他的作用，如制动电磁铁用来控制自动抱闸装置，实现快速停车；起重电磁铁用于起重搬运磁性货物等。

2.1.2　触头系统

触头是电器的执行部件，它的作用是接通或分断电路。触头工作的好坏直接影响整个电器的工作性能，因此要求触头要具有良好的接触性能。触头的工作状态可分为闭合状态、闭合过程和分断过程三种状态，如图 2-3 所示。

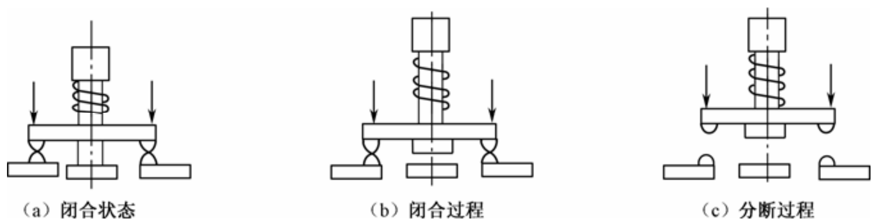


图 2-3　触头的工作状态

电流容量较小的电器（如接触器、继电器）常采用银质材料做触头，这是因为银的氧化膜电阻率与纯银相似，可以避免触头表面氧化膜电阻率增加而造成接触不良。

触头的结构有桥式和指式两类，图 2-4 为桥式结构。桥式触头又分为点接触式和面接触式，点接触式适用于电流不大的场合，面接触式适用于电流较大的场合。因桥式触头在接通与分断时产生滚动摩擦，可以去掉氧化膜，故其触头可以用紫铜制造，特别适合于触头分合次数多、电流大的场合。

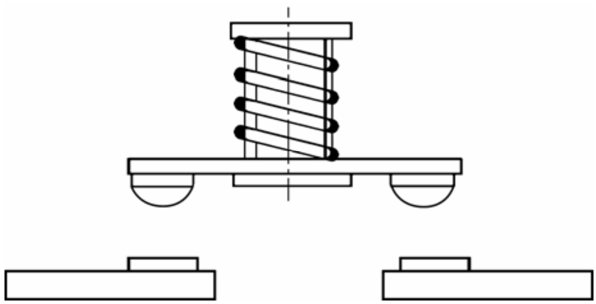


图 2-4　桥式触头结构

2.1.3　灭弧系统

触头在分断电流瞬间，在触头间的气隙中会产生电弧，电弧的高温能将触头烧损，并可能造成其他事故，因此应采用适当的措施迅速熄灭电弧。

电弧形成的过程是：当触头间刚出现断口时，两触头间距离极小，电场强度极大，在高热和强电场作用下，金属内部的自由电子从阴极表面逸出，奔向阳极，这些自由电子在电场中运动时撞击其他中性气体分子，因此在触头间隙中产生大量的带电粒子，使气体导电形成炽热的电子流即电弧。

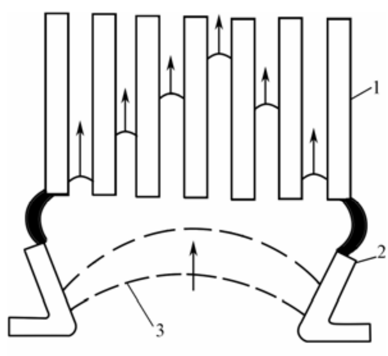
对于低压控制电器，工业现场中常用的灭弧方法有：

① 机械灭弧。通过机械装置将电弧迅速拉长，这种方法多用于开关电器中。

② 磁吹灭弧。在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁场作用下，电弧受电磁力的作用而拉长，被吹入由固体介质构成的灭弧罩内，与固体介质相接触，电弧被冷却而熄灭。

③ 窄缝（纵缝）灭弧法。在电弧所形成的磁场电动力的作用下，可使电弧拉长并进入灭弧罩的窄（纵）缝中，几条窄缝可将电弧分割成数段，让其与固体介质面相接触，电弧便迅速熄灭。这种结构多用于交流接触器上。

④ 栅片灭弧法。当触头分开时，产生的电弧在电动力的作用下被推入一组金属栅片中而被分割成数段，彼此绝缘的金属栅片的每一片都相当于一个电极，因而就有许多个阴阳极压降。对交流电弧来说，近阴极处，在电弧过零时会出现一个 150～250V 的介质强度，使电弧无法继续维持而熄灭。由于栅片灭弧效应在交流时要比直流时强得多，所以交流电器常常采用栅片灭弧，如图 2-5 所示。



1—灭弧栅片；　2—触头；3—电弧

图 2-5　金属栅片灭弧示意图

2.2 开关电器

常用的开关电器包括低压刀开关、组合开关和低压断路器（自动开关）。

2.2.1 低压刀开关

低压刀开关（也称为闸刀开关）是一种手动电器，主要用来手动接通与断开交、直流电路，通常只做隔离开关使用，也可用于不频繁地接通与分断额定电流以下的负载，如小型电动机、电阻炉等。

选择刀开关时应考虑以下两个方面。

① 刀开关结构形式的选择，应根据刀开关的作用和装置的安装形式来选择。如是否带灭弧装置，若分断负载电流，应选择带灭弧装置的刀开关；根据装置的安装形式选择，是否是正面、背面或侧面操作形式，是直接操作还是杠杆传动，是板前接线还是板后接线的结构形式。

② 刀开关额定电流的选择，一般应等于或大于所分断电路中各个负载额定电流的总和。对于电动机负载，应考虑其启动电流，所以应选用额定电流大一级的刀开关；若再考虑电路出现的短路电流，还应选用额定电流更大一级的刀开关。

QA 系列、QF 系列、QSA（HH15）系列隔离开关用于低压配电中，HY122 带有明显断口的数模化隔离开关，广泛用于楼层配电、计量箱、终端组电器中。

HR3 熔断器式刀开关具有刀开关和熔断器的双重功能，采用这种组合开关电器可以简化配电装置结构，经济实用，越来越广泛地用于低压配电屏上。

HK1、HK2 系列开启式负荷开关（胶壳刀开关），用于电源开关和小容量电动机非频繁启动的操作开关。

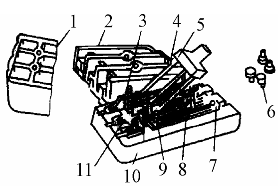
HH3、HH4 系列封闭式负荷开关（铁壳开关），操作机构具有速断弹簧与机械连锁，用于非频繁启动、28kW 以下的三相异步电动机中。

低压刀开关分为单极、双极和三极 3 种。在低压刀开关上再安装上熔丝或熔断器，可组成兼有通、断电路和保护作用的开关电器，如塑壳刀开关、熔断器式刀开关等。

1. 塑壳刀开关

塑壳刀开关是一种结构非常简单、应用极其广泛的手动电器，主要用于频率为 50Hz，电压小于 380V，电流小于 60A 的电力线路中。一般作为照明、电热等回路的控制开关，也可用做分支线路的配电开关和小容量电动机非频繁启动的操作开关，熔丝起过载短路保护作用。

塑壳刀开关由操作手柄、熔丝、触刀、触头座和底座组成，如图 2-6 所示。塑壳使电弧不致飞出灼伤操作人员，防止极间电弧造成电源短路。



1—上胶盖；2—下胶盖；3—插座；4—触刀；5—瓷柄；6—胶盖紧固螺母；
7—出线座；8—熔丝；9—触刀座；10—瓷底板；11—进线座

图 2-6 塑壳刀开关的结构

刀开关安装时，手柄要向上，不得倒装或平装。倒装时手柄有可能因自动下滑而引起误合闸，造成人身安全事故。接线时，应将电源线接在上端，负载接在熔丝下端。这样拉闸后刀开关与电源隔离，便于更换熔丝。

常用的塑壳刀开关有 HK1，HK2 系列，HK2 系列塑壳刀开关的技术数据见表 2-1。

表 2-1　HK2 系列塑壳刀开关的技术数据

额定电压/V	额定电流/A	极数	熔体极限分断电流/A	控制电动机功率/kW	机械寿命/万次	电寿命/万次
250	10	2	500	1.1	10 000	2 000
	15		500	1.5		
	30		1 000	3.0		
380	15	3	500	2.2	10 000	2 000
	30		1 000	4.0		
	60		1 500	5.5		

2．熔断器式刀开关

熔断器式刀开关适用于配电线路，用做电源开关、隔离开关和应急开关，并可做电路保护之用，但一般不用于直接接通、断开电动机。其常用的型号有 HR3、HH10、HR11 系列。

以 HR3 系列为例，其各种型号的具体含义如图 2-7 所示。

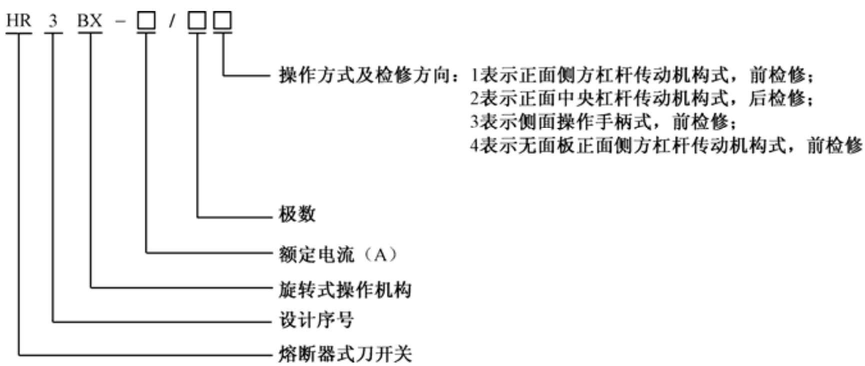


图 2-7　HR3 系列各种型号具体含义

HR3 熔断器式刀开关中的熔断器为 NT 型低压高分断型熔断器，其分断能力高达 1kA。

HR3 系列开关由底座和盖两大部分组成。底座由钢板制成，其上装有插座组、灭弧室和极间隔板。开关底座两侧装有储能弹簧，使开关具有快速闭合和断开的功能。灭弧室具有防止电弧吹向操作者和防止发生短路的作用。

有熔断装置的开关侧面还装有行程开关，当某相熔断体熔断时，熔断撞击器弹出，通过传动轴，触动行程开关，以便发出信号或切断电动机控制电路，防止电动机缺相运行。HR3 系列熔断器式刀开关的主要技术参数见表 2-2。

2.2.2　组合开关

组合开关在机床电气设备中用做电源引入开关，也可用来直接控制小容量三相异步电动机非频繁正、反转。组合开关其实也是一种闸刀开关，不过它的刀片（动触片）是转动式的，比刀开关轻巧而且组合性强，能组成各种不同线路。

表 2-2　HR3 系列熔断器式刀开关的主要技术参数

<table>
<tr><th rowspan="2">型　号</th><th rowspan="2">刀开关与熔断体额定电流/A</th><th rowspan="2">熔体额定电流/A</th><th colspan="2">刀开关分断能力/A</th><th colspan="2">熔断器分断能力/kA</th></tr>
<tr><th>AC 380V cosϕ≥0.6</th><th>DC 440V T≤0.004 5s</th><th>AC 380V cosϕ≤0.3</th><th>DC 440V T=0.015～0.02s</th></tr>
<tr><td>HR3-100</td><td>100</td><td>30、40、50、60、80、100</td><td>100</td><td>100</td><td>50</td><td>25</td></tr>
<tr><td>HR3-200</td><td>200</td><td>80、100、120、150、200</td><td>200</td><td>200</td><td rowspan="3">50</td><td rowspan="4">25</td></tr>
<tr><td>HR3-400</td><td>400</td><td>150、200、250、300、350、400</td><td>400</td><td>400</td></tr>
<tr><td>HR3-600</td><td>600</td><td>350、400、450、500、550、600</td><td>600</td><td>600</td></tr>
<tr><td>HR3-1000</td><td>1 000</td><td>700、800、900、1 000</td><td>1 000</td><td>1 000</td><td>25</td></tr>
</table>

组合开关由动触片、静触片、方形转轴、手柄、定位机构和外壳组成。动触片装在附加有手柄的绝缘方轴上，方轴随手柄而旋转，于是动触片也随方轴转动并变更其与静触片的分、合位置。所以，组合开关实际上是一个多触点、多位置式可以控制多个回路的开关电器。

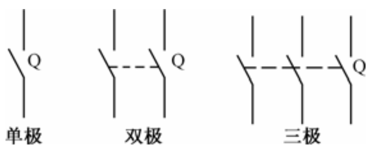
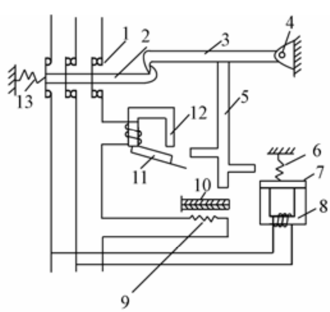


图 2-8　组合开关的图形和文字符号

组合开关分为单极、双极和多极三类，如图 2-8 所示。其主要参数有额定电压、额定电流、允许操作频率、极数、可控制电动机最大功率等。其中，额定电流有 10 A、20 A、40 A 和 60 A 等几种。

2.2.3　低压断路器

低压断路器（又称自动空气断路器或自动开关）可用来分配电能，还可对电源线路及电动机等实行保护，当它们发生严重的过载或短路及欠电压等故障时能自动切断电路。其功能相当于熔断器式断路器与过流、欠压、热继电器等的组合，而且在分断故障电路后一般不需要更换零部件，因此获得了广泛的应用。低压断路器的内部结构如图 2-9 所示。从结构看，低压断路器有框架式（万能式）和塑料外壳式（装置式）两类。框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置，主要型号有 DW10 和 DW15 两个系列，DW15 系列断路器的外形图如图 2-10 所示。塑料外壳式断路器的特点是外壳用绝缘材料制作，具有良好的安全性，广泛用于电气控制设备及建筑物内做电源线路保护，以及对电动机进行过载和短路保护，主要型号有 DZ5、DZ10、DZ20 等系列，DZ10 系列断路器的外形图如图 2-11 所示。



1—触点；2—锁键；3—搭钩；4—转轴；5—杠杆；6—弹簧；7—衔铁；8—欠电压脱扣器；
9—加热电阻丝；10—热脱扣器双金属片；11—衔铁；12—过电流脱扣器；13—弹簧

图 2-9　低压断路器的内部结构

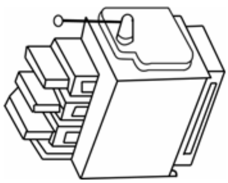


图 2-10　DW15 系列断路器的外形图

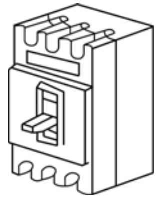


图 2-11　DZ10 系列断路器的外形图

低压断路器的图形、文字符号如图 2-12 所示。我国新研制的 DZ20 系列低压断路器的型号意义如图 2-13 所示。

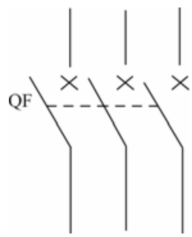


图 2-12　低压断路器的图形、文字符号

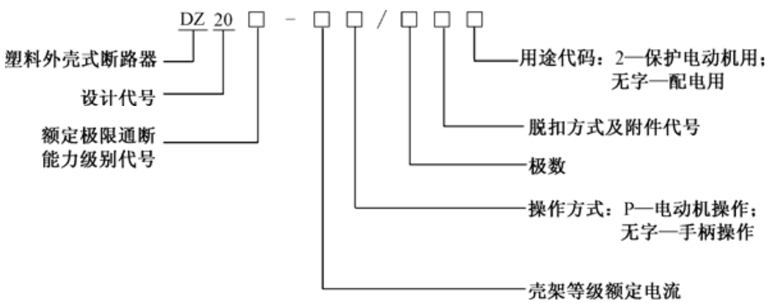


图 2-13　DZ20 系列低压断路器的型号意义

低压断路器的主要参数有：额定电压、额定电流、极数、脱扣器类型和其额定电流及其整定范围、电磁脱扣器整定范围、主触头的分断能力等。

2.3　熔断器

2.3.1　熔断器的种类

熔断器按其结构类型分有插入式、螺旋式、有填料密封管式、无填料密封管式等，品种规格很多。在电气控制系统中经常选用螺旋式熔断器，它具有明显的分断指示和不用任何工具就可取下或更换熔体等优点。最近推出的新产品有 RL6、RL7 系列，可以取代老产品 RL1、RL2 系列；RLS2 是快速熔断器，用以保护半导体硅整流元件及晶闸管，可取代老产品 RLS1 系列。RT12、RT15、NGT 等系列是有填料密封管式熔断器，瓷管两端铜帽上焊有连接板，可直接安装在母线排上；RT12、RT15 系列带有熔断指示器，熔断时红色指示器弹出。RT14 系列熔断器（如图 2-14 所示）带有撞击器，熔断时撞击器弹出，既可作熔断信号指示，也可触动微动开关以切断接触器线圈电路，使接触器断电，实现三相电动机的断相保护。

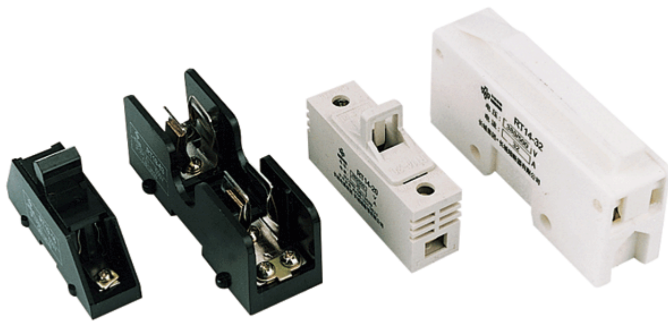
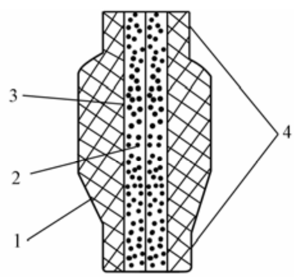


图 2-14　RT14 系列熔断器外形图

2.3.2　熔断器的工作原理

熔断器是一种最简单的保护电器，它可以实现过载和短路保护。由于其结构简单、体积小、质量轻、维护简单、价格低，所以在强电和弱电系统中都获得了广泛的应用。

熔断器由熔体、填料（或者无填料）、绝缘管和导电触头等组成，熔体是熔断器的核心。因为熔断器主要靠熔体受电流的热作用而熔化来断开电路，所以熔体的材料应具有如下性质：熔点低、易于熔断、导电性能好、不易氧化、易于加工。熔体通常用低熔点的铅锡合金、锌、铜、银的丝状或片状材料制成，新型的熔体通常设计成灭弧栅状和具有变截面片状结构。熔断器的结构如图 2-15 所示。



1—绝缘管；2—填料；3—熔体；4—导电触头

图 2-15　熔断器的结构

在使用中，熔断器与被保护的电路串联。当电路中发生过载或短路时，如果通过熔体的电流达到或超过了某一定值，熔体上产生的热量就会使其温度达到熔体的熔点，于是熔体融断，因此便可分断故障电路，保护电路和设备。

选择熔断器主要是选择熔断器的类型、额定电压、额定电流及熔体的额定电流。熔断器的类型应根据线路要求和安装条件来选择。熔断器的额定电压应大于或等于线路的工作电压，熔断器的额定电流应大于或等于熔体的额定电流。熔体额定电流的选择是熔断器选择的核心，其选择方法如下。

对于如照明线路等没有冲击电流的负载，应使熔体的额定电流等于或稍大于电路的电流，即

$$I_{fu} \geq I_{电器}$$

其中，I_{fu} 为熔体的额定电流；$I_{电器}$为电路的工作电流。

对于电动机一类的负载，应考虑启动冲击电流的影响，应按下式计算：

$$I_{fu} \geq 1.5 \sim 2.5 I_N$$

式中，I_N 为电动机的额定电流。

对于多台电动机，如果由一个熔断器保护时，熔体的额定电流应按下式计算：

$$I_{fu} \geq (1.5 \sim 2.5) I_{Nmax} + \Sigma I_N$$

式中，I_{Nmax} 为容量最大的一台电动机的额定电流；ΣI_N 为其余电动机额定电流的总和。

熔断器的图形及文字符号如图 2-16 所示。



图 2-16　熔断器的图形及文字符号

2.3.3　熔断器的主要参数

1．保护特性曲线

熔断器的保护特性曲线也称为安－秒特性曲线，表征的是流过熔体的电流与熔体熔断时间的关系，是熔断器的主要参数之一。横坐标用电流 I 表示，纵坐标用时间 t 表示，如图 2-17 所示。由特性曲线可以看出，流过熔体的电流越大，熔断所需的时间越短。

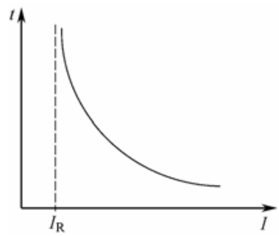


图 2-17　熔断器的保护特性曲线

在熔断器的保护特性曲线中，有一个熔断电流与不熔断电流的分界线，该分界线处的电流叫做最小熔化电流。它是指当熔体中通过的电流等于该电流值时，熔体能够达到其稳定温度且熔断，而当通过比该电流值略小一点的电流时，则无法使熔体熔断。从理论上讲，熔体达到稳定温度所需的时间为无限大，最小熔断电流用符号 I_R 表示。

2．极限分断能力

极限分断能力是指熔断器在额定电压和功率因数（或时间常数）下切断短路电流的极限能力，所以常用极限断开电流值来表示。

从发生短路开始到短路电流达到其最大值为止，需要一断时间，这段时间的长短，取决于电路的参数。如果熔断器的熔断时间小于这段时间，则电路中的短路电流在达到最大值之前就被切断。这时，熔断器起了“限流作用”。

3．额定电压

额定电压指熔断器长期工作时和分断后能够承受的电压，其值一般等于或大于电气设备的额定电压。

4．额定电流

额定电流指熔断器长期工作时，各部件温升不超过规定值时所能承受的电流。厂家为了减少熔断管额定电流的规格，使熔断管的额定电流等级比较少，而熔体的额定电流等级比较多，也即在一个额定电流等级的熔断管内可以分装几个额定电流系统的熔体，但熔体的额定电流最大不超过熔断管的额定电流。

综上所述，熔断器的主要技术参数是安－秒特性曲线和分断能力，它们都是熔断器在保护方面的要求。其中安－秒特性曲线提供过载保护服务，而分断能力提供短路保护服务。

2.4　主令电器

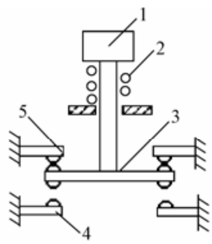
控制系统中，主令电器是一种专门发布命令、直接或通过电磁式电器间接作用于控制电路的电器，常用来控制电力拖动系统中电动机的启动、停车、调速及制动等。

常用的主令电器有控制按钮、行程开关、接近开关，万能转换开关、主令控制器及其他主令电器如脚踏开关、倒顺开关、紧急开关、钮子开关等。本节仅介绍几种常用的主令电器。

2.4.1　控制按钮

控制按钮是一种结构简单、使用广泛的手动主令电器，主要用于远距离操纵接触器、继电器等电磁装置，常用在各种信号电路和电气连锁电路中。

控制按钮一般由按钮、复位弹簧、触头和外壳等部分组成，其结构如图 2-18 所示，表示符号如图 2-19 所示。



1—按钮；2—复位弹簧；3—动触头；4—常开触头；5—常闭触头

图 2-18　控制按钮结构示意图

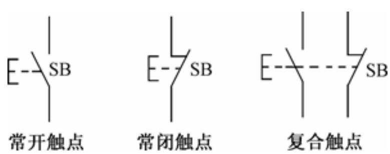


图 2-19　控制按钮的图形及文字符号

当按下控制按钮时，先断开常闭触头，而后接通常开触头。控制按钮释放后，在复位弹簧的作用下使触头复位。

控制按钮在结构上有按钮式、紧急式、钥匙式、旋钮式和保护式 5 种，可根据使用场合和具体用途来选用。

控制按钮可做成单个按钮、两个按钮和三个按钮的形式。为便于识别各个按钮的作用，避免误操作，通常在按钮上做出不同标志或涂以不同颜色，如红、黄、蓝、白、绿、黑等。一般红色表示停止按钮，绿色或黑色表示启动按钮。

2.4.2　行程开关

行程开关主要用于检测工作机械的位置，发出命令以控制其运动方向或行程长短。如一些机床（刨床、铣床）上的直线运动部件，当它们到达其边缘位置时，常要求能自动停止或反转，还有一些机械要求在到达行程中的某个位置时，能自动改变运动的速度，这时就可以考虑用行程开关来实现。

行程开关按结构可分为机械结构式和电气结构式，其中机械结构行程开关为接触式有触点的行程开关，而电气结构行程开关为非接触式的接近开关。接触式行程开关靠移动物体碰撞行程开关的操动头而使行程开关的常开触头接通和常闭触头分断，从而实现对电路的控制作用，其结构如图 2-20 所示。行程开关的触头在电路图中的图形符号表示如图 2-21 所示。

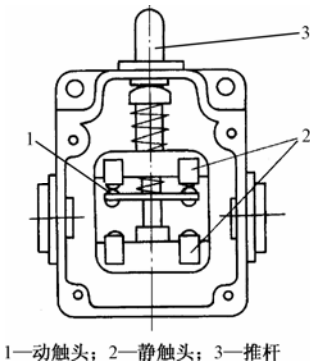


图 2-20　直动式行程开关结构图

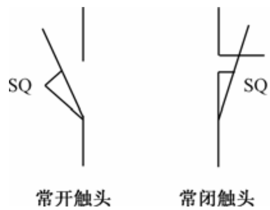


图 2-21　行程开关触头的图形符号

行程开关的分类如下：行程开关按动作速度分为瞬动和慢动；按操作形式分为直杆式、直杆滚轮式、转臂式、方向式、叉式、铰链杠杆式等；按用途分为一般用途行程开关、起重设备用行程开关及微动开关等多种。常用行程开关的型号有 LX19 系列、新产品 LXK3 系列和 LXW5 系列微动开关等。

近年来，由于半导体元件的出现，产生了一种非接触式的行程开关，即接近开关。它不但可使微动开关、行程开关实现无接触、无触点化外，还可用做高速脉冲发生器、高速计数器等。因为接近开关具有定位精度高、操作频率高、寿命长、耐冲击振荡、耐潮湿、能适应恶劣工作环境等优点，所以在工业生产中逐渐得到推广应用。

2.4.3　万能转换开关

万能转换开关用于自动开关器、高压油断路器等操作机构的合闸控制，电磁控制站中线路的换接及电流、电压换相测量等处。因为换接的线路很多，用途又广泛，所以称为万能转换开关。

万能转换开关由接触系统、操作机构、转轴手柄、齿轮啮合机构等主要部件组成，用螺柱组装成整体。它是一种多挡位、多段式、控制多回路的主令电器，当操作手柄转动时，带动开关内部的凸轮转动，从而使触头按规定顺序闭合或断开。

万能转换开关一般用于交流 500V、直流 440V、约定发热电流 20A 以下的电路中。常用的万能转换开关有 LW5、LW6 系列，LW5 系列万能转换开关如图 2-22 所示。

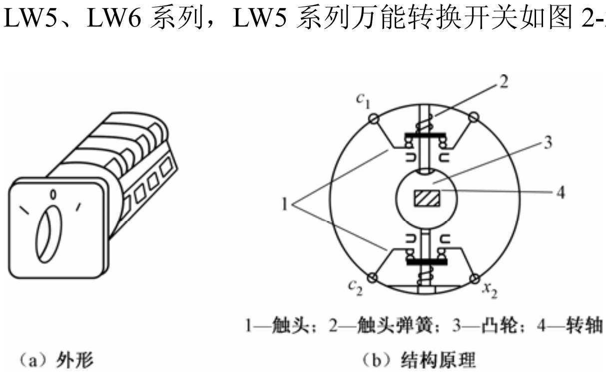
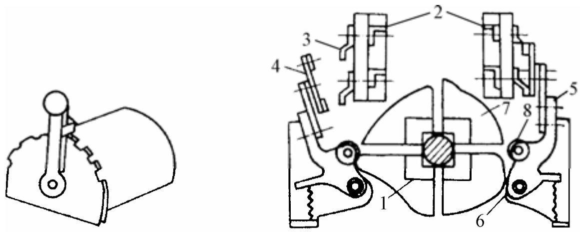


图 2-22　LW5 系列万能转换开关

2.4.4　主令开关

主令开关广泛应用于控制线路中，它是按照预定程序转换控制电路接线的主令电器。主令开关主要用在转换频繁、复杂的多路控制电路中，对电动机的启动、制动和调速等作远距离控制。它一般由触头、凸轮、定位机构、转轴、面板及其支撑件等部分组成，操作轻便，允许每小时接电次数较多，触头为双断点的桥式结构，适用于按顺序操作的多个控制回路。主令控制器的外形如图 2-23（a）所示，图 2-23（b）为主令控制器的结构原理。



1、7—凸轮块；2—接线柱；3—固定触头；4—动触头；5—支杆；6—转动轴；8—小轮

（a）外形　（b）结构原理

图 2-23　主令控制器

常用的主令控制器有 LK5 和 LK6 系列，其中 LK5 系列有直接手动操作、带减速器的机械操作与电动机驱动三种类型的产品。LK6 系列是由同步电动机和齿轮减速器组成定时元件，由此元件按预先规定的时间顺序，周期性地分合电路。

2.5　接触器

接触器是一种用于频繁地接通或断开交直流主电路、大容量控制电路等大电流电路的自动切换电器。接触器不仅能自动切换电路，还具有手动开关所缺乏的远距离操作功能和零压及欠压保护功能。接触器成本较低，主要用于控制电动机、电热设备、电焊机、电容器组等，是电力拖动自动控制电路中使用最广泛的一种低压电器元件。接触器按控制的电流种类可分为交流接触器和直流接触器两种。

2.5.1　接触器的结构和工作原理

接触器可分为交流接触器和直流接触器，直流接触器主要用于电压 440V、电流 600A 以下的直流电路，其结构与工作原理基本上与交流接触器相同。本书主要以交流接触器为例，说明接触器的结构和工作原理。

1．交流接触器的基本结构

（1）电磁机构

交流接触器的电磁机构由铁芯（两侧柱端部嵌有短路环）、电磁线圈、衔铁、反作用力弹簧和缓冲弹簧等组成。

（2）触头系统

交流接触器的触头分为主触头和辅助触头。主触头用于接通、断开电流较大的负荷电路。所以，主触头截面积较大，一般为平面型。辅助触头截面积较小，一般为球面型，用于

接通、断开控制电路等。交流接触器的主触头多为常开触头，辅助触头则有常开触头及常闭触头两种。

（3）灭弧装置

交流接触器的主触头在切断具有较大感性负荷的电路时，动、静触头间会产生强烈的电弧，灭弧装置可使电弧迅速熄灭，减轻电弧对触头的烧蚀和防止相间短路。交流接触器的灭弧装置有栅片灭弧、电动力灭弧、纵缝灭弧、磁吹灭弧等几种。图 2-24 为交流接触器的结构剖面示意图。

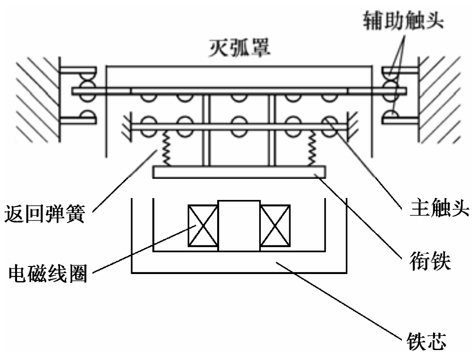


图 2-24　交流接触器的结构剖面示意图

2．交流接触器的工作原理

当交流接触器线圈通电后，在铁芯中产生磁通。由此在衔铁气隙处产生吸力，使衔铁产生闭合动作，主触头在衔铁的带动下也闭合，于是接通主电路。同时衔铁还带动辅助触头动作，使原来打开的辅助触头闭合，而使原来闭合的辅助触头打开。当线圈断电或电压显著降低时，吸力消失或减弱，衔铁在返回弹簧的作用下打开，主、辅触头恢复到原来状态。这就是接触器的工作原理。

2.5.2　接触器的主要技术参数和型号含义

1．额定电压

（1）额定电压

接触器铭牌额定电压是指主触点上的额定电压。常用的电压等级如下。

直流接触器：110V、220V、440V、660V 等挡次。交流接触器：127V、220V、380V、500V 等挡次。如某负载是 380V 的三相感应电动机，则应选 380V 的交流接触器。

（2）额定工作电压

额定工作电压是与额定工作电流共同决定接触器使用条件的电压值，接触器的接通与分断能力、工作制种类及使用类别等技术参数都与额定工作电压有关。

对于多相电路来说，额定工作电压是指电源相间电压（即线电压）。另外，接触器可以根据不同的工作制和使用类别规定许多组额定工作电压和额定电流的数值。例如：CJ10-40 型交流接触器，额定电压为 220V 时可控制电动机为 11kW，额定电压为 380V 时可控制电动机为 20kW。

（3）额定绝缘电压

额定绝缘电压是与介电性能试验、电气间隙和爬电距离有关的一个名义电压值，除非另有规定，额定绝缘电压是接触器的最大额定工作电压。在任何情况下，额定工作电压不得

超过额定绝缘电压。

2．额定电流

（1）额定电流

接触器铭牌额定电流是指主触点的额定电流。常用的电流等级如下。

直流接触器：25A、40A、60A、100A、250A、400A、600A 等。交流接触器：5A、10A、20A、40A、60A、100A、150A、250A、400A、600A 等。

上述电流是指接触器安装在敞开式控制屏上，触点工作不超过额定温升，负载为间断—长期工作（指接触器连续通电时间不超过 8 小时）制时的电流值。

（2）额定工作电流

① 主触头额定工作电流。指根据额定工作电压、额定功率、额定工作制、使用类别及外壳防护类型等所决定的保证接触器正常工作的电流值。

② 辅助触头额定工作电流。辅助触头额定工作电流是考虑到额定工作电压、额定操作频率、使用类别及电寿命而规定的辅助触头的电流值，一般不大于 5A。

③ 使用类别。使用类别是根据接触器的不同控制对象在运行过程中各自不同的特点而规定的。不同使用类别的接触器对接通、分断能力及电寿命的要求是不一样的。使用类别代号如表 2-3 所示。

表 2-3　常见接触器使用类别及其典型用途表

形式	触点类别	使用类别	用　　途
交流接触器	接触器主触点	AC-1	无感或低感负载、电阻炉
		AC-2	绕线式感应电动机的启动、分断
		AC-3	鼠笼式感应电机的启动、运转中分断
		AC-4	鼠笼式感应电机的启动、反接制动或反向运转、点动
	接触器辅助触点	AC-11	控制交流电磁铁
		AC-14	控制小容量电磁铁负载
		AC-15	控制容量在 72VA 以上的电磁铁负载
直流接触器	接触器主触点	DC-1	无感或低感负载、电阻炉
		DC-3	并励电动机的启动、反接制动或反向运转、点动，电动机在动态中分断
		DC-4	串励电动机的启动、反接制动或反向运转、点动，电动机在动态中分断
	接触器辅助触点	DC-11	控制直流电磁铁
		DC-13	控制直流电磁铁
		DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载

3．线圈的额定电压

线圈常用的电压等级如下。

直流线圈：24V、48V、220V、440V。

交流线圈：36V、127V、220V、380V。

4．额定操作频率、电寿命和机械寿命

额定操作频率是指每小时接通的次数。根据使用条件，操作频率有 150 次/h、300 次/h、600 次/h、1 200 次/h。交流接触器最高为 600 次/h；直流接触器可高达 1 200 次/h。电寿命指接触器主触头在额定条件下带电操作直到损坏不能继续工作时的极限操作次数。机械寿命则是指接触器在不需修理或更换机械零件条件下所能承受的无负载操作次数。

5．辅助触头（连锁触头）

辅助触头用于接通与分断控制电路。根据我国标准规定，额定电流为 150A 及以下的接触器具有两个常开和两个常闭的辅助触头，而额定电流超过 150A 的接触器具有三个常开和三个常闭的辅助触头。辅助触头应该具有一定的接通和分断能力。

下面是 CJ20 系列交流接触器的主要技术参数，如表 2-4 所示。

表 2-4　CJ20 系列交流接触器主要技术参数

型　号	频率/Hz	辅助触头额定电流/A	吸引线圈电压/V	主触头额定电流/A	额定电压/V	可控制电动机最大功率/kW
CJ20-10				10	380/220	4/2.2
CJ20-16				16	380/220	7.5/4.5
CJ20-25				25	380/220	11/5.5
CJ20-40				40	380/220	22/11
CJ20-63	50	5	～36、127、220、380	63	380/220	30/18
CJ20-100				100	380/220	50/28
CJ20-160				160	380/220	85/48
CJ20-250				250	380/220	132/80
CJ20-400				400	380/220	220/115

6．接触器的型号及含义

接触器的型号及含义如图 2-25 所示。

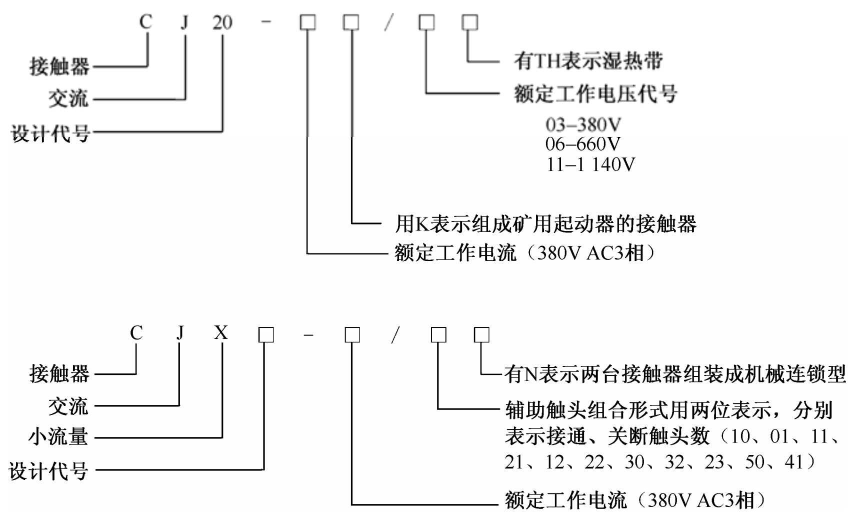


图 2-25　接触器的型号及含义

7．接触器的图形符号和文字符号

接触器在电路图中的图形符号和文字符号如图 2-26 所示。

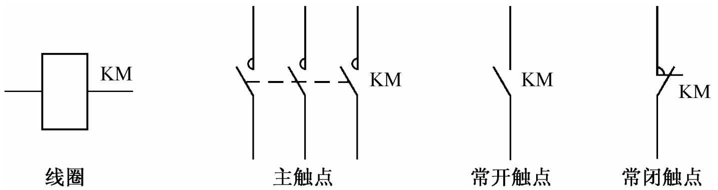


图 2-26　接触器的图形和文字符号

2.6　继电器

继电器主要在控制与保护电路中作信号转换用，它具有输入电路（又称感应元件）和输出电路（又称执行元件）。当感应元件中的输入量（如电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时继电器动作，执行元件便接通和断开控制回路。

控制继电器种类繁多，常用的有电流继电器、电压继电器、中间继电器、时间继电器、热继电器，以及温度、压力、计数、频率继电器等，下面对经常使用的几种继电器作简单介绍。

2.6.1　电压、电流继电器

根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器称为电流继电器，按用途还可以分为过电流继电器和欠电流继电器。过电流继电器的任务是当电路发生短路及过流时立即将电路切断，因此通过过电流继电器线圈的电流小于整定电流时继电器不动作，只有超过整定电流时，继电器才动作。过电流继电器动作电流整定范围：交流过流继电器为（110%～350%）• I_N，直流过流继电器为（70%～300%）• I_N。欠电流继电器的任务是当电路电流过低时立即将电路切断，因此欠电流继电器线圈通过的电流大于或等于整定电流时继电器吸合，只有电流低于整定电流时，继电器才释放。欠电流继电器动作电流整定范围：吸合电流为 30%～50%I_N，释放电流为 10%～20%I_N。欠电流继电器一般是自动复位的。

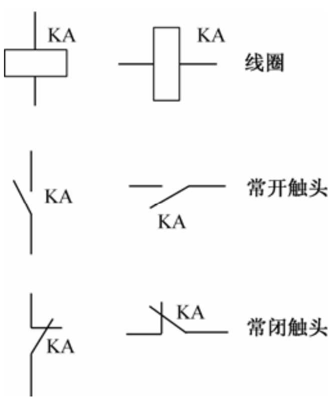


图 2-27　电磁式继电器的图形和文字符号

与此类似，电压继电器是根据输入电压大小而动作的继电器。过电压继电器动作电压整定范围为 105%～120%U_N，欠电压继电器吸合电压调整范围为 30%～50%U_N，释放电压调整范围为 7%～20%U_N。

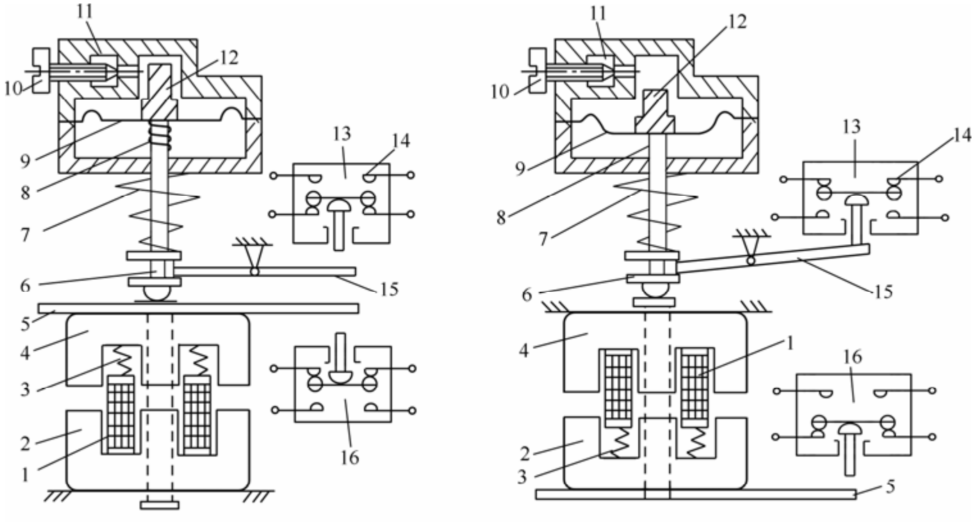
电磁式电压及电流继电器在电路中的图形符号和文字符号如图 2-27 所示。

2.6.2　时间继电器

从得到输入信号（线圈的通电或断电）开始，经过一定的延时后才输出信号（触头的闭合或断开）的继电器，称为时间继电器。时间继电器的种类很多，常用的有空气式、电动式、电子式等。

1．空气式时间继电器

空气式时间继电器由电磁机构、工作触头及气室三部分组成，它的延时是靠空气的阻尼作用实现的。该继电器常见的型号有 JS7-A 系列，按其控制原理有通电延时和断电延时两种类型。图 2-28 为 JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的工作原理图。



1—线圈；2—静铁芯；3、7、8—弹簧；4—衔铁；5—推板；6—顶杆；9—橡皮膜；10—螺钉；11—进气孔；12—活塞；13、16—微动开关；14—延时触头；15—杠杆

图 2-28　JS7-A 系列空气阻尼式时间继电器的工作原理图

当通电延时型时间继电器的电磁铁线圈通电后，将衔铁吸下，于是顶杆与衔铁间出现一个空隙，当与顶杆相连的活塞在弹簧的作用下由上向下移动时，在橡皮膜上面形成空气稀薄的空间（气室），空气由进气孔逐渐进入气室，活塞因受到空气的阻力，不能迅速下降，在降到一定位置时，杠杆使触头动作（常开触点闭合，常闭触点断开）。线圈断电时，弹簧使衔铁和活塞等复位，空气经橡皮膜与顶杆之间推开的气隙迅速排出，触点瞬时复位。

断电延时型时间继电器与通电延时型时间继电器的原理和结构均相同，只是将后者的电磁机构翻转 180° 安装，即为断电延时型。

空气阻尼式时间继电器的延时时间有 0.4～180s 和 0.4～60s 两种规格，具有延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低、寿命长等优点，是机床交流控制线路中常用的时间继电器。

表 2-5 为 JS7-A 型空气阻尼式时间继电器的技术数据，其中 JS7-2A 型和 JS7-4A 型既带有延时动作触头，又带有瞬时动作触头。

表 2-5　JS7-A 型空气阻尼式时间继电器的技术数据

型　号	触点额定容量		延时触点对数				瞬时动作触点数量		线圈电压/V	延时范围/s
	电压/V	电流/A	线圈通电延时		线圈断电延时					
			常开	常闭	常开	常闭	常开	常闭		
JS7-1A	380	5	1	1					交流 36、127、220、380	0.4～60 及 0.4～180
JS7-2A			1	1			1	1		
JS7-3A					1	1				
JS7-4A					1	1	1	1		

按照通电延时和断电延时两种形式，空气阻尼式时间继电器的延时触头有延时打开常开触头、延时打开常闭触头、延时闭合常开触头和延时闭合常闭触头。时间继电器的图形符号如图 2-29 所示，文字符号为 KT。

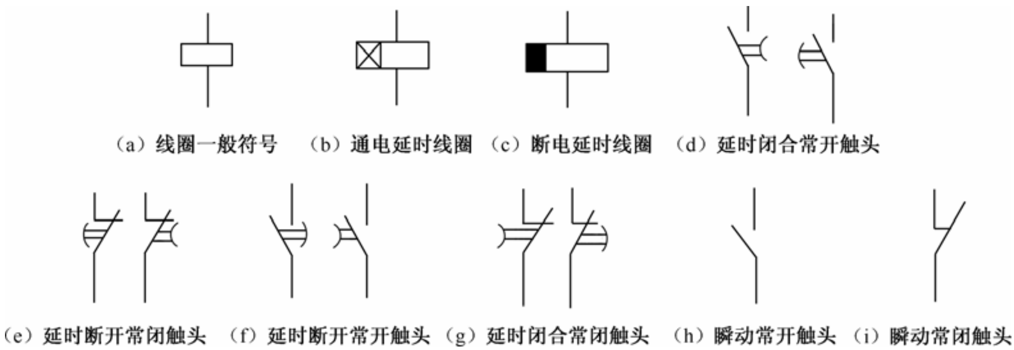


图 2-29　时间继电器的图形符号

2. 电动式时间继电器

电动式时间继电器由同步电动机、减速齿轮机构、电磁离合系统及执行机构组成。电动式时间继电器延时时间长，可达数十小时，延时精度高，但结构复杂，体积较大，常用的有 JS10、JS11 系列和 7PR 系列。

3. 电子式时间继电器

电子式时间继电器早期产品多是阻容式，近期开发的产品多为数字式，又称计数式。其结构是由脉冲发生器、计数器、数字显示器、放大器及执行机构组成。电子式时间继电器具有延时时间长、调节方便、精度高的优点。有的还带有数字显示，应用很广，可取代阻容式、空气式、电动式等时间继电器，我国生产的产品有 JSS1 系列。

2.6.3　中间继电器

中间继电器是将一个输入信号变成多个输出信号或将信号放大（即增大触头容量）的继电器。

常用的中间继电器有 JZ7 系列。下面以 JZ7-62 为例说明其型号意义，JZ 为中间继电器的代号，7 为设计序号，有 6 对常开触头，2 对常闭触头。表 2-6 为 JZ 7 系列中间继电器的主要技术数据。

表 2-6　JZ7 系列中间继电器的主要技术数据

型　号	触头额定电压/V	触头额定电流/A	触头对数		吸引线圈电压/V	额定操作频率次/h
			常开	常闭		
JZ7-44	500	5	4	4	交流 50Hz 时 12、36、127、220、380	1 200
JZ7-62			6	2		
JZ7-80			8	0		

新型中间继电器触头闭合过程中动、静触头间有一段滑擦、滚压过程，可以有效地清除触头表面的各种生成膜及尘埃，减小了接触电阻，提高了接触可靠性。有的还装了防尘罩或采用密封结构，也是提高可靠性的措施。有些中间继电器安装在插座上，插座有多种形式可供选择。有些中间继电器可直接安装在导轨上，安装和拆卸均很方便。常用的中间继电器

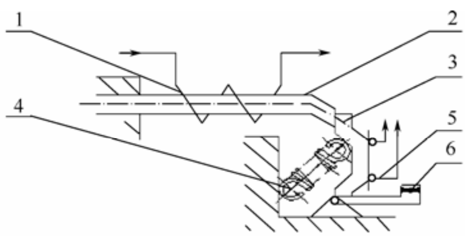
有 JZ18、MA、KH5、RT11 等系列。中间继电器在电路中的图形符号和文字符号与电压或电流继电器相同。

2.6.4　热继电器

热继电器是用来对连续运行的电动机进行过载及断相保护，以防止电动机过热而烧毁的保护电器。

热继电器按动作方式可分为：① 双金属片式，利用热双金属片（具有不同膨胀系数的两种金属焊接在一起）受热弯曲去推动一个触头执行机构而动作；② 易熔合金式，利用过载电流的发热，达到某温度时使易熔合金熔化而动作；③ 利用材料磁导率或电阻值随温度变化而变化的特性原理制成的热继电器。

热继电器主要由热元件、双金属片和触点三部分组成。图 2-30 是热继电器原理图，其中 1 是热元件，是一段电阻不大的电阻丝，接在电动机的主电路中；2 是双金属片，是由两种不同线膨胀系数的金属辗压而成，下层金属的线膨胀系数大，上层的小。当电动机过载时，流过热元件的电流增大，热元件产生的热量使双金属片向上弯曲，经过一定时间后，弯曲位移增大，因而脱扣，扣板 3 在弹簧 4 的拉力作用下，将常闭触点 5 断开。触点 5 是串接在电动机控制电路中的，控制电路断开使接触器的线圈断电，从而断开电动机的主电路。若要使热继电器复位，则按下复位按钮 6 即可。热继电器由于热惯性，当电路短路时不能立即动作使电路立即断开，因此不能做短路保护。同理，在电动机启动或短时过载时，热继电器也不会动作，这可避免电动机不必要的停车。每一种电流等级的热元件，都有一定的电流调节范围，一般应调节到与电动机额定电流相等，以便更好地起到过载保护作用。



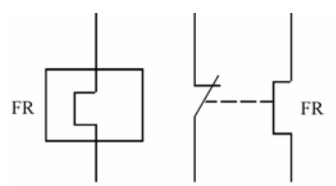
1—热元件；2—双金属片；3—扣板；4—弹簧；5—常闭触点；6—复位按钮

图 2-30　热继电器原理图

热继电器的主要参数有：热继电器额定电流、相数、热元件额定电流、整定电流及调节范围等。热继电器的额定电流是指热继电器中，可以安装的热元件的最大整定电流值。热元件的额定电流是指热元件的最大整定电流值。

热继电器的整定电流是指热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流设定的。对于某一热元件的热继电器，可手动调节整定电流旋钮，通过偏心轮机构，调整双金属片与导板的距离，能在一定范围内调节其电流的整定值，使热继电器更好地保护电动机。JR16、JR20 系列是目前广泛应用的热继电器。

在电气原理图中，热继电器的发热元件和触头的图形符号如图 2-31 所示。



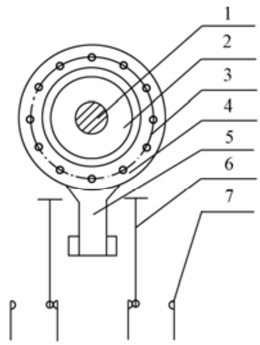
（a）热元件　（b）常闭触头

图 2-31　热继电器的图形符号

2.6.5　速度继电器

速度继电器根据电磁感应原理制成，用来在三相交流异步电动机反接制动转速过零时，自动切除反相序电源。

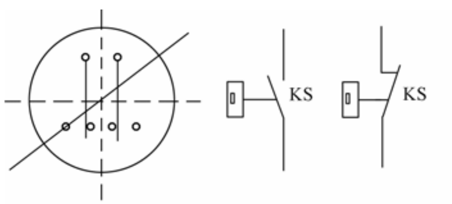
图 2-32 为其结构原理图。由图可知，速度继电器主要由转子、圆环（笼型空心绕组）和触点三部分组成。转子由一块永久磁铁制成，与电动机同轴相连，用以接收转动信号。当转子（磁铁）旋转时，笼型绕组切割转子磁场产生感应电动势，形成环内电流，此电流与磁铁磁场相作用，产生电磁转矩，圆环在此力矩的作用下带动摆锤，克服弹簧力而顺转子转动的方向摆动，并拨动触点改变其通断状态（在摆锤左右各设一组切换触点，分别在速度继电器正转和反转时发生作用）。



1—转轴；2—转子；3—定子；4—绕组；5—摆锤；6—簧片；7—触点

图 2-32　速度继电器结构原理图

速度继电器的动作转速一般不低于 120r/min，复位转速约在 100r/min 以下。工作时，允许的转速高达 1 000～3 600r/min。由速度继电器正转和反转切换触点的动作，来反映电动机转向和速度的变化。速度继电器常用的型号有 JY1 和 JF20 型。速度继电器的图形及文字符号如图 2-33 所示。



（a）转子　　（b）常开触头　（c）常闭触头

图 2-33　速度继电器的图形及文字符号

2.6.6　固态继电器

固态继电器（Solid State Relay）简称 SSR，是 20 世纪 70 年代中后期发展起来的一种新型无触点继电器。由于其可靠性高、开关速度快和工作频率高、使用寿命长、便于小型化、输入控制电流小，以及与 TTL、CMOS 等集成电路有较好的兼容性等一系列优点，不仅在许多自动控制装置中替代了常规的继电器，而且在常规继电器无法应用的一些领域，如微型计算机数据处理系统的终端装置、可编程序控制器的输出模块、数控机床的程控装置及在微机控制的测量仪表中都有用武之地。随着我国电子工业的迅速发展，固态继电器的应用领域

正在不断扩大。

固态继电器是具有两个输入端和两个输出端的一种四端器件，其输入与输出之间通常采用光电耦合器隔离，并称为全固态继电器。固态继电器按输出端负载的电源类型可分为直流型和交流型两类。其中直流型是以功率晶体三极管的集电极和发射极作为输出端负载电路的开关控制的，而交流型是以双向三端晶闸管的两个电极作为输出端负载电路的开关控制的。固态继电器的形式有常开式和常闭式两种，当固态继电器的输入端施加控制信号时，其输出端负载电路常开式的被导通，常闭式的被断开。

交流型的固态继电器，按双向三端晶闸管的触发方式可分为非过零型和过零型两种，其主要区别在于交流负载电路导通的时刻不同。当输入端施加控制信号电压时，非过零型负载端开关立即动作，而过零型的必须等到交流负载电源电压过零（接近 0V）时，负载端开关才动作。输入端控制信号撤销时，过零型的也必须等到交流负载电源电压过零时负载端开关才复位。

固态继电器的输入端要求有几个 mA 至 20mA 的驱动电流，最小工作电压为 3V，所以 MOS 逻辑信号通常要经晶体管缓冲级放大后再去控制固态继电器，对于 CMOS 电路可利用 NPN 晶体管缓冲器。当输出端的负载容量很大时，直流固态继电器可通过功率晶体管（交流固态继电器通过双向晶闸管）驱动负载。

当温度超过 35℃左右后，固态继电器的负载能力（最大负载电流）随温度升高而下降，因此使用时必须注意散热或降低电流使用。

对于容性或电阻类负载，应限制其开通瞬间的浪涌电流值（一般为负载电流的 7 倍），对于电感性负载，应限制其瞬时峰值电压值，以防损坏固态继电器。具体使用时，可参照样本或有关手册。

图 2-34 所示为用固态继电器控制三相感应电动机线路图。

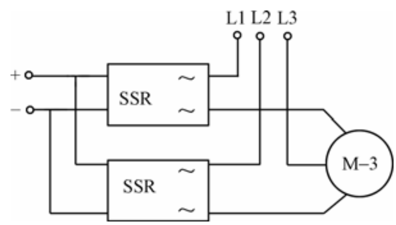


图 2-34　固态继电器控制三相电动机

2.7　执行电器

低压执行电器主要用于机床和一些自动控制系统中，起执行任务的作用。这类低压电器主要有电磁铁、电磁离合器等。

2.7.1　电磁铁

电磁铁是低压执行电器的主要元件，由电磁线圈、铁芯和衔铁组成。其基本的工作原理是利用线圈通电后使铁芯磁化，产生电磁吸力，吸引衔铁来操动、牵引机械装置完成各种需要的动作。如钢铁零件的吸持、固定、牵移，以及用于起重、搬运等。因此，电磁铁是将电能转变为机械能的一种电器。电磁铁在自动控制的机械传动系统中得到广泛应用。

电磁铁的种类很多，按使用电流种类分为直流电磁铁和交流电磁铁，交流电磁铁又分为单相励磁和三相励磁两种；按用途分为牵引电磁铁、制动电磁铁、起重电磁铁及其他各种专用电磁铁等。

1．牵引电磁铁

凡是衔铁运动做功的电磁铁都称为牵引电磁铁。这类电磁铁主要用于自动控制设备

中，用做开启或关闭水压、油压、气压等阀门，以及牵引其他机械装置以达到遥控的目的。

牵引电磁铁的基本特点是在一定的负载持续率（工作时间与工作周期之比）和一定的行程下产生一定的电磁吸力，并要保证在这些基本特性下电磁铁达到机械寿命长、操作频率高、消耗功率小和尺寸小等目的。

牵引电磁铁的主要技术指标是：在一定衔铁行程下的电磁吸力及其操作寿命。

常用的 MQ1 系列牵引电磁铁是在机床及自动化系统中用来远距离控制和操作各种机构。其工作原理是：电磁铁的导磁体由用硅钢片叠成的磁轭和衔铁两部分组成，使用时，铁轭固定于支架上，衔铁则活动地连接于牵引杆上，当线圈通电时，衔铁被吸合，经过连杆带动其所控制的机构。

MQ1 系列牵引电磁铁的额定电磁吸力为 1.5～25 千克，操作频率为 200～600 次/h。

2．制动电磁铁

制动电磁铁的结构和牵引电磁铁是一样的。如果电磁铁的衔铁牵引一个制动的抱闸装置，则电磁铁就起制动作用，就称为制动电磁铁。该电磁铁主要用于电气传动装置中，对电动机进行机械制动，使停机准确、迅速。

制动电磁铁的种类较多，按行程分为长行程（行程大于 10mm）和短行程（行程小于 5mm）两种，长行程制动电磁铁一般都做成衔铁直动式；按通电电流的性质分为直流和交流两类。

常用的有 MZS1 型交流三相长行程制动电磁铁（见图 2-35），它的工作原理很简单，当激磁线圈通电时，衔铁向上运动，从而提升牵引杆，此牵引杆即可操作机械制动装置；当激磁线圈中没有电流时，衔铁受其本身和牵引杆的重力等作用而释放。MZS1 型制动电磁铁具有缓冲装置，可避免磁铁在合上时因高速冲击而使铁芯或衔铁受损。

还有 MZZ2 型直流长行程制动电磁铁（见图 2-36），主要用于闸瓦式制动器，其工作原理同 MZS1 型制动电磁铁。此外还有 MZZ1 型直流短行程制动电磁铁和 MZD1 型交流短行程电磁铁，这里不做详细介绍。



图 2-35　MZS1 型制动电磁铁

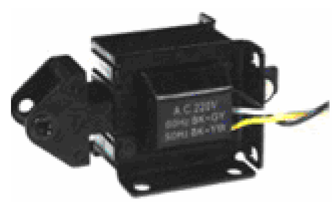


图 2-36　MZZ2 型制动电磁铁

3．起重电磁铁

起重电磁铁适用于起重铁砂及钢轨、钢管等钢材。其结构根据所搬运的材料而定，一般超重电磁铁制成圆形和矩形，大多作为搬运成型钢材的专门工具。

2.7.2　电磁离合器

电磁离合器又称电磁联轴器，它是应用电磁感应原理和内外摩擦片之间的摩擦力，使机械传动系统中两个旋转运动的零件，在主动零件不停止运动的情况下，与从动零件结合或分离的电磁连接器，是一种自动执行的电器，可以用来控制机械的启动、反向、调速和制动

等，具有结构简单、动作响应快、控制能量小、便于远距离控制等特点。虽然体积小，但能传递大扭矩，在制动控制时，制动迅速且平稳。因此，电磁离合器广泛应用于各种加工机床和机械传动系统中。

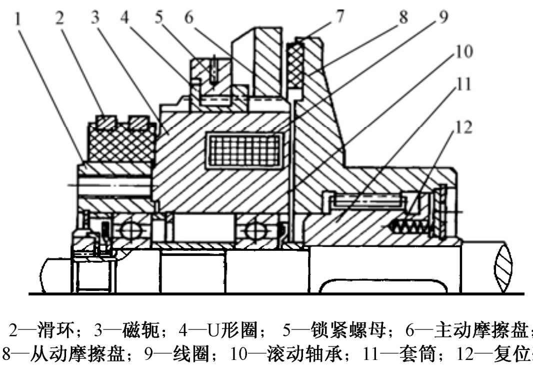
电磁离合器按工作原理分为摩擦片式、铁粉式、感应转差式和牙嵌式等几种。这里以摩擦片式电磁离合器为例，介绍离合器的结构及工作原理。

摩擦片式电磁 离合器具有单片和多片等形式，单片摩擦式电磁 离合器具有结构简单，传动转矩大，响应快，无空转力矩，散热良好等优点。摩擦片常在干式状态下使用，磨损快，需及时更换摩擦衬。多片摩擦式电磁离合器由于摩擦片的厚度较薄，传动相同转矩时，虽轴向尺寸增加但径向尺寸明显减少，因而结构紧凑，容易安装在机床内部并能在工作过程中接入和切除。

摩擦片式电磁离合器的分类如下：根据摩擦片的摩擦状态，可分为干式与湿式两种；根据摩擦片在磁路中的位置，可分为磁通一次过片、二次过片与磁通不过片；根据有无滑环，可分为线圈旋转与线圈静止两种。

（1）单片摩擦式电磁离合器

如图 2-37 所示为线圈旋转（带滑环）单片摩擦式电磁离合器，滑环 2 和法兰 1 分别用螺钉固定在磁轭 3 上，磁轭内放置线圈 9，主动摩擦盘 6 与磁轭用螺纹连接。石棉或尼龙摩擦衬 7 用螺钉固定在从动摩擦盘 8（衔铁）上，衔铁与套筒 11 用花键连接，并可沿轴向移动。线圈未通电时，与主动摩擦盘相连的各元件在滚动轴承 10 上空转，通电后吸引衔铁向左移，使离合器接合。为了调整两摩擦盘间的气隙，在主动摩擦盘背面开有呈辐射状的若干条键槽，同样的磁轭外周也有槽，槽内放置特殊的 U 形圈 4，调定气隙后，使滑键进入合适位置的沟槽并用螺母 5 锁紧。法兰上的螺纹孔用来与其他传动件相连接。这种离合器的外形尺寸和转动惯量较大，不适宜用在快速接合的场合。

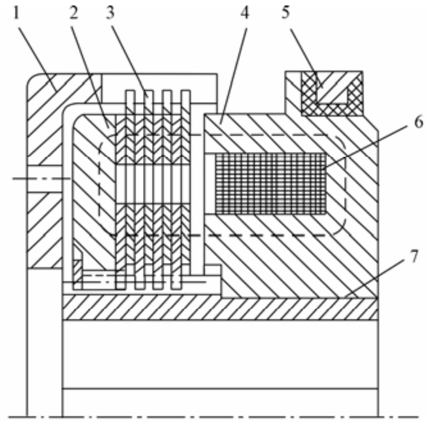


1—法兰；2—滑环；3—磁轭；4—U形圈；5—锁紧螺母；6—主动摩擦盘；7—摩擦衬；
8—从动摩擦盘；9—线圈；10—滚动轴承；11—套筒；12—复位弹簧

图 2-37　单片摩擦式电磁离合器

（2）多片摩擦式电磁离合器

如图 2-38 所示为线圈旋转（带滑环）多片摩擦式电磁离合器，在磁轭 4 的外表面和线圈槽中分别用环氧树脂固连滑环 5 和励磁线圈 6，线圈引出线的一端焊在滑环上，另一端焊在磁轭上接地。外连接件 1 与外摩擦片组成回转部分，内摩擦片与传动轴套 7、磁轭组成另一回转部分。当线圈通电时，衔铁 2 被吸引沿花键套右移压紧摩擦片组，离合器接合。这种结构的摩擦片位于励磁线圈产生的磁力线回路内，因此需用导磁材料制成。由于受摩擦片的剩磁和涡流影响，其脱开时间较非导磁摩擦片长，常在湿式条件下工作，因而广泛用于远距离控制的传动系统和随动系统中。



1—外连接件；2—衔铁；3—摩擦片组；4—磁轭；5—滑环；6—线圈；7—传动轴套

图 2-38　多片摩擦式电磁离合器

摩擦片处在磁路外的电磁离合器，摩擦片既可用导磁材料制成，也可用摩擦性能较好的铜基粉末冶金等非导磁材料制成，或在钢片两侧面黏合具有高耐磨性、韧性而且摩擦因数大的石棉橡胶材料。可在湿式或干式工况下工作。

为了提高导磁性能和减少剩磁影响，磁轭和衔铁可用电工纯铁或 08 号或 10 号低碳钢制成，滑环一般用淬火钢或青铜制成。

2.8　本章小结

本章详细地介绍了常用低压配电电器、保护电器、控制电器、主令电器和执行电器的构造原理、图形符号、技术参数及各自的特点、用途等。

配电电器主要有刀开关、断路器、隔离开关、转换开关及熔断器等，主要用于低压供电系统中。

保护电器如熔断器、热继电器、过电流和欠电流继电器、漏电保护开关等，这些电器可根据电路的故障情况自动切断电路，实现保护作用。

控制电器分为自动切换和非自动切换两大类。自动切换电器有接触器、中间继电器、时间继电器、行程开关、自动开关等；非自动切换电器有按钮、转换开关等。控制电器主要用于接通和切断电路，以实现各种控制要求。

低压主令电器有按钮、主令开关、行程开关和万能转换开关等，主要用于发送控制指令。

低压执行电器有电磁铁、电磁离合器等，多用于各种机床和自动控制系统中，执行一些操作任务。

学习这些常用电器时，应联系工程实践，结合实物，通过实践或实习等手段，加深对其的理解；并抓住各自的特点及共性，以便合理使用及正确选择，为将来从事工程实践打下良好的基础。

2.9　思考与练习

1．按低压电器与使用系统的关系及用途，习惯上可将低压电器分成哪几类？

2．低压电器的执行机构包括哪两部分？各有何作用？

3．常用的灭弧方法有哪些？

4．常用的开关电器包括哪些？各有什么作用？

5．熔断器的作用是什么？两台电动机不同时启动，一台电动机额定电流为 14.8A，另一台电动机额定电流为 6.47A。请选择用做短路保护熔断器的熔体额定电流。

6．简述控制按钮与行程开关的结构，它们在电路中各起什么作用？

7．行程开关、万能转换开关及主令控制器在电路中各起什么作用？

8．接触器在电路中的作用是什么？选择接触器应主要考虑哪些因素？

9．常用的继电器有哪些类型？简述其各自在电路中的作用。

10．电磁铁有哪几种形式？各有什么作用？

第 3 章　数控机床电气控制基础

数控机床的控制电路是由各种不同的控制电气元器件组成的，进给伺服系统的控制性能在一定程度上决定了数控机床的等级。因此，在数控技术发展的过程中，进给驱动系统的研制总是放在首要的位置。本章主要针对步进电动机伺服系统、直流电动机伺服系统、交流电动机进给驱动伺服系统的控制进行讨论。

要了解、分析和设计数控机床的控制电路，除了要熟悉各种控制电气元器件外，还要掌握数控机床电气原理图的画法规则、数控机床电气控制的逻辑表示等内容。本章结合机床电气控制线路的应用实例，使读者对控制电路有初步了解，为后续章节的学习打下基础。

【本章重点】

- 掌握步进电动机伺服系统工作原理及控制方式;
- 掌握直流电动机伺服系统及调速方式;
- 掌握国标中对电气图用图形符号和文字符号的规定;
- 掌握电气原理图的绘制原则;
- 了解电器元件布置图和接线图的绘制原则，掌握电气识图的方法与步骤;
- 掌握常用电气控制基本环节及其应用;
- 能根据控制要求正确选择电气控制方式。

3.1　步进电动机伺服系统及其控制

用步进电动机作为数控机床的进给驱动，一般采用开环的控制结构。数控系统发出的指令脉冲通过步进电动机驱动器，使步进电动机产生角位移，并通过齿轮和丝杠带动工作台移动。由于开环控制系统的控制简单，精度低，可靠性和稳定性难以保证，所以通常只适用于经济型数控机床和机床改造。

3.1.1　步进电动机的基本类型

比较常用的步进电机包括反应式步进电机（VR）、永磁式步进电机（PM）和混合式步进电机（HB）等几种。

反应式步进电机的转子磁路由软磁材料制成，定子上有多相励磁绕组，利用磁导的变化产生转矩。该步进电机一般为三相，可实现大转矩输出，步进角一般为 1.5°，但振动和噪声比较大。永磁式步进电机一般为两相，转矩和体积较小，步进角一般为 7.5° 或 15°。混合式步进电机混合了永磁式和反应式的优点，它又分为两相和五相：两相步进角一般为 1.8°，而五相步进角一般为 0.72°。

反应式步进电动机和混合式步进电动机的结构虽然不同，但工作原理相同，下面以反应式步进电动机为例，分析说明步进电动机的工作原理。

如图 3-1 所示，在电动机定子上有 A、B、C 三对绕有线圈的磁极，分别称为 A 相、B 相和 C 相，而转子则是一个带齿的铁芯，这种步进电动机称为三相步进电动机。当 A、B、C 三个磁极的线圈依次通电，则 A、B、C 三对磁极依次产生磁场吸引转子转动。设 A 相通

电，则转子 1、3 两齿被磁极 A 吸住。A 相断电，B 相通电，则磁极 A 的磁场消失而磁极 B 产生磁场，磁极 B 的磁场把离它最近的 2、4 两齿吸引过去，这时转子逆时针转了 30°。接下来 B 相断电，C 相通电。根据同样的道理，转子又逆时针转了 30°。若 A 相再次通电，C 相断开，则转子再逆转 30°，使磁极 A 的磁场把 2、4 两个齿吸住。定子各相轮流通电一次转子转过一个齿。这样按 A→B→C→A→B→C→A→……次序轮流通电，步进电动机就一步一步地按逆时针方向旋转。通电线圈每转换一次，步进电动机旋转 30°。如果把步进电动机通电线圈转换的次序倒过来，换成 A→C→B→A→C→B→……的顺序，则步进电动机将按顺时针方向旋转，所以要改变步进电动机的旋转方向只需改变步进电动机线圈的通电相序即可。

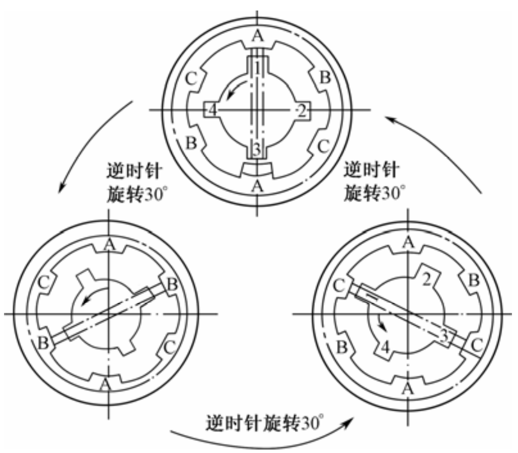


图 3-1　步进电机工作原理

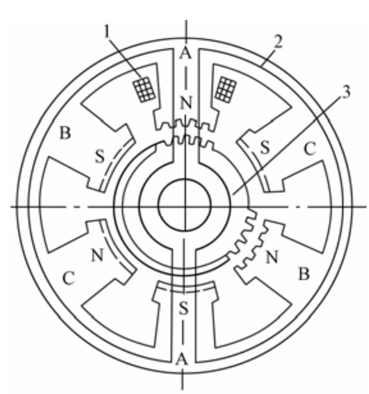
上述通电方式称为三相单三拍。“拍”是指从一种通电状态转变为另一种通电状态；“单”是指每次只有一相绕组通电；“三拍”是指一个循环中，通电状态切换的次数是三次。

此外还有一种三相六拍的通电方式，通电顺序为 A、AB、B、BC、C、CA、A……若以三相六拍的通电方式工作，A 相断电而 A、B 相同时通电时，转子的齿将同时受到 A 相和 B 相绕组产生的磁场的共同吸引力，转子的齿只能停在 A 相和 B 相磁极间；A、B 相同时断电而 B 相通电时，转子的齿沿顺时针转动，并与 B 相磁极齿对齐。这样步进电动机转动一个齿距，需要六拍操作。

通常把步进电动机每步转过的角度（或定义为步进电动机每一拍执行一次步进，其转子所转过的角度）称为步距角。如果转子的齿数为 Z，步进电动机的工作拍数为 K，则步距角 β 为：

$$\beta = \frac{360°}{ZK}$$

步进电动机的步距角越小，它所能达到的位置精度越高，所以在实际应用中都采用小步距角，常采用图 3-2 所示的实际结构。电动机定子有三对六个磁极，每对磁极上有一个励磁绕组，每个磁极上均匀地开着五个齿槽，齿距角为 90°。转子上没有线圈，沿着圆周均匀分布了 40 个齿槽，齿距角也



1—绕组；2—定子铁芯；3—转子铁芯

图 3-2　定子与转子的磁极

为 9°。定子和转子均由硅钢片叠成。定子片的三相磁极错开 1/3 的齿距，这就使 A 相定子的齿槽与转子齿槽对准时，B 相的定子齿槽与转子齿槽相错 1/3 齿距，C 相的定子齿槽与转子齿槽相错 2/3 齿距。这样才能在连续改变通电状态下，获得连续不断的步进运动。

步进电动机转速计算公式为：

$$n = \frac{\theta}{360^\circ} \times 60 f = \frac{\theta f}{60^\circ}$$

其中，n 为转速，f 为控制脉冲频率，θ 为步距角（单位为°）。

3.1.2　步进电动机位置控制系统

步进电动机位置控制系统可以是开环系统，也可以是闭环系统。但出于经济性考虑，步进电动机位置控制系统一般采用开环系统。

1．步进电动机位置控制系统组成

在步进电动机位置控制系统中，位置指令一般是一串连续的脉冲。步进电动机绕组是按一定通电方式轮流工作的，为实现这种轮流通电，需将控制脉冲按规定的通电方式分配到电动机的每相绕组。这种分配既可以用硬件实现，也可以用软件实现。实现脉冲分配的硬件逻辑电路称为环形分配器。在计算机数字控制系统中，采用软件实现脉冲分配的方式相应地称为软件环形分配。

经过环形分配器输出的进给脉冲式弱电信号，功率很小，不能驱动步进电机绕组，以产生足够的电磁转矩带动负载运动。所以，经过环形分配器输出的进给脉冲需要进行功率放大，达到一定的电流和电压。一个完整的步进电动机位置控制系统构成如图 3-3 所示。

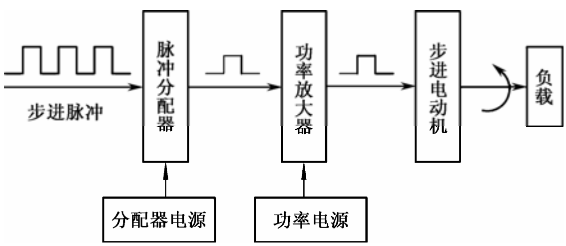


图 3-3　步进电动机位置控制系统

2．步进电动机的脉冲分配电路

（1）硬件脉冲分配器电路

步进电动机的脉冲分配可以由硬件和软件两种方法来实现。硬件环形分配器是根据步进电动机的相数及通电方式而专门设计的电路，图 3-4 所示为一个三相六拍环形分配器的逻辑电路图，其逻辑真值表如表 3-1 所示。

分配器的主体是 3 个 J-K 触发器。3 个 J-K 触发器的 Q 输出端分别经各自的功放线路与步进电动机 A、B、C 三相绕组连接。当 QA=1 时，A 相绕组通电；QB=1 时，B 相绕组通电；QC=1 时，C 相绕组通电。DR+和 DR−是步进电动机的正、反转控制信号。

正转时，各相通电顺序：A－AB－B－BC－C－CA。

反转时，各相通电顺序：A－AC－C－CB－B－BA。

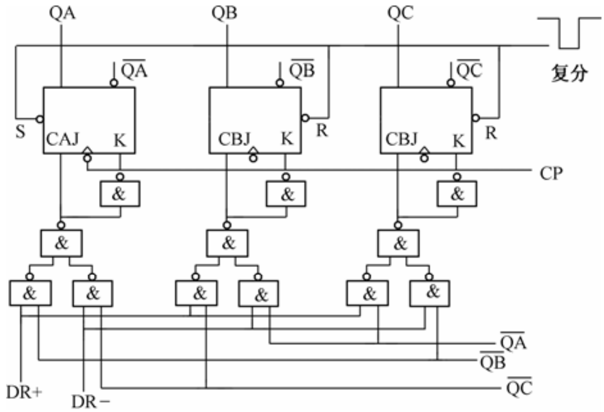


图 3-4　三相六拍环形分配器逻辑电路图

表 3-1　三相六拍环形分配器逻辑真值表

序　号	控制信号状态			输 出 状 态			导电绕组
	C_{AJ}	C_{BJ}	C_{CJ}	Q_A	Q_B	Q_C	
0	1	1	0	1	0	0	A
1	0	1	0	1	1	0	AB
2	0	1	1	0	1	0	B
3	0	0	1	0	1	1	BC
4	1	0	1	0	0	1	C
5	1	0	0	1	0	1	CA
6	1	1	0	1	0	0	A

（2）软件脉冲分配

对于不同的计算机和接口器件，软件环形分配有不同的形式，现以 AT89C51 单片机配置的系统为例加以说明。

① 对于由 P1 口作为驱动电路的接口。控制脉冲经 AT89C51 的并行 I/O 接口 P1 口输出到步进电动机各相的功率放大器输入，设 P1 口的 P1.0 输出至 A 相，P1.1 输出至 B 相，P1.2 输出至 C 相。

② 建立环形分配表。为了使电动机按照如前所述顺序通电，首先必须在存储器中建立一个环形分配表，存储器各单元中存放对应绕组通电的顺序数值，如表 3-2 所示。当运行时，依次将环形分配表中的数据，也就是对应存储器单元的内容送到 P1 口，使 P1.0、P1.1、P1.2 依次送出有关信号，从而使电动机轮流通电。

表 3-2 为三相六拍软件环形分配表，K 为存储器单元基地址（16 位二进制数），后面所加的数为地址的索引值。要使电动机正转，只需依次输出表中各单元的内容即可。当输出状态已是表底状态时，则修改索引值使下次输出重新为表首状态。若要使电动机反转，则只需反向依次输出各单元的内容。当输出状态达到表首状态时，则修改指针使下一次输出重新为表底状态。

表 3-2　三相六拍软件环形分配数据表

存储单元地址	单 元 内 容	对应通电相
K+0	01H（0001）	A
K+1	03H（0011）	AB
K+2	02H（0010）	B
K+3	06H（0110）	BC
K+4	04H（0100）	C
K+5	05H（0101）	CA

3.1.3　步进电动机驱动电路

步进电动机的驱动电路实际上是一种脉冲放大电路，使脉冲具有一定的功率驱动能力。由于功率放大器的输出直接驱动电动机绕组，因此，功率放大电路的性能对步进电动机的运行性能影响很大。对驱动电路要求的核心问题则是如何提高步进电动机的快速性和平稳性。目前，国内经济型数控机床步进电动机驱动电路主要有以下几种。

1．单电压限流型驱动电路

图 3-5 所示是步进电动机单相驱动电路，L 是电动机绕组，晶体管 VT 可以认为是一个无触点开关，它的理想工作状态应使电流流过绕组 L 的波形尽可能接近矩形波。但是由于电感线圈中的电流指数规律上升，须经过一定的时间后才能达到稳态电流，又由于步进电动机绕组本身的电阻很小，所以，时间常数很大，从而严重影响电动机的启动频率。为了减小时间常数，在励磁绕组中串联电阻 R，这样时间常数就大大减小，缩短了绕组中电流上升的过渡过程，从而提高了工作速度。

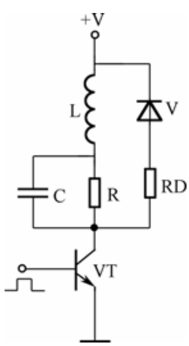


图 3-5　单电压驱动电路

在电阻 R 两端并联电容 C，是由于电容上的电压不能突变，在绕组由截止到导通的瞬间，电源电压全部降落在绕组上，使电流上升更快，所以，电容 C 又称为加速电容。二极管 V 在晶体管 VT 截止时起续流和保护作用，以防止晶体管截止瞬间绕组产生的反电动势造成管子击穿。串联电阻 RD 使电流下降更快，从而使绕组电流波形后沿变陡。这种电路的缺点是 R 上有功率消耗。为了提高快速性，需加大 R 的阻值，随着阻值的加大，电源电压也势必提高，功率消耗也进一步加大，正因为这样，单电压限流型驱动电路的使用受到了限制。

2．高低压切换型驱动电路

高低压切换型驱动电路的最后一级和电压、电流波形如图 3-6 所示。这种电路中采用高压和低压两种电压供电，一般高压大于 60V，低压为 5～20V。V_1 在 VT_1 和 VT_2 都截止时通过电源和 V_2 为电机绕组提供放电回路。在 t_1～t_2 时间内，VT_1 和 VT_2 均饱和导通，+80V 的高压电源经过 VT_1 和 VT_2 加到步进电动机的绕组上，使其电流迅速上升，当时间到达 t_2 时，或电流上升到某一数值时，U_{b2} 变为低电平，VT_2 截止，电动机绕组的电流由+12V 电源经过 VT_1 来维持，此时，电流下降到电动机的额定电流，直到 t_3 时 U_{b1} 也为低电平，VT_1 截止，电动机绕组电流下降到 0。一般电压 U_{b1} 由脉冲分配经过几级放大获得，电压 U_{b2} 由单稳态电路再经脉冲变压器获得。

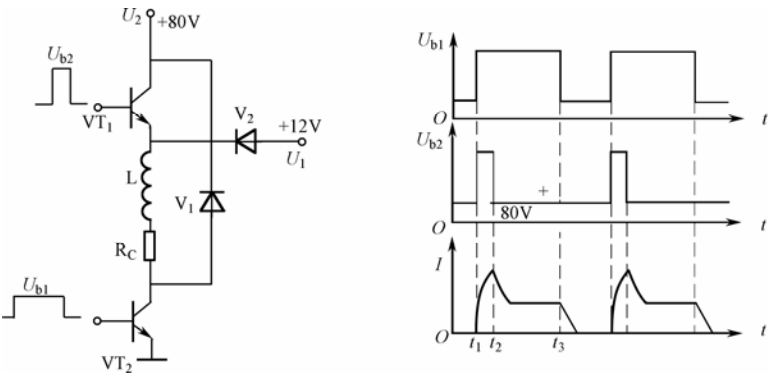


图 3-6　高低压驱动电路

高低压切换型驱动电路的优点是功耗小，启动力矩大，突跳频率和工作频率高；缺点是大功率管的数量要多用一倍，增加了驱动电源。另外，由于工作中电路参数的漂移，高压脉冲的宽度很难掌握，偏宽则过流严重而导致电机发烫，偏窄则输出转矩不足会引起失步。

3．PWM型驱动电路

恒频脉宽调制驱动电路就是把常用的斩波恒流和斩波平滑驱动电路的优点集于一身，所以功能更好。如图 3-7 所示，V_1 是 20kHz 的方波，它作为各相 D 触发器的时钟信号 CP，以保证各相以同样的频率进行斩波。V_2 是步进控制信号。V_{ref} 是比较器 OP 的正输入端信号，它用于确定电机绕组电流 i_L 的稳定值。

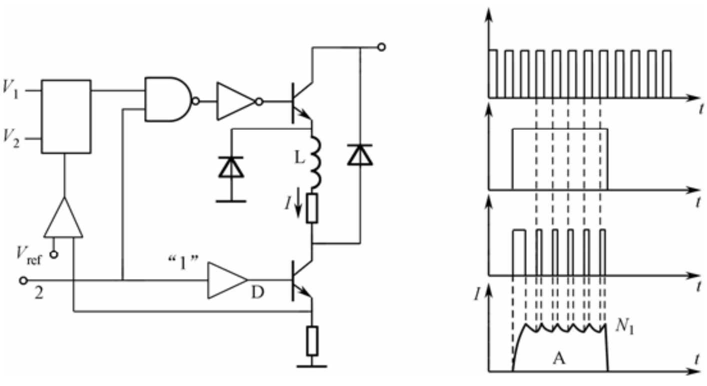


图 3-7　恒频脉宽调制驱动电路

恒频脉宽调制功率放大电路不但有较好的高频特性，而且有效地减小了步进电机的噪声，同时还降低了功耗。由于斩波的频率较高，对功放管的要求也稍高，但是在现有的电力电子器件发展水平下这已不成问题。

3.1.4　步进电动机的特性

1．步距误差

步距误差是步进电动机每个步距的实际值与理论值的差值。步进电动机走过若干步后，应有一定的累积误差。但每转一周的累积误差为零，所以步距误差不会长期累积。

2．启动频率

启动频率是步进电动机由静止状态不失步地启动到稳定速度所允许的最高输入脉冲频率。实际上，这是表明步进电动机所允许的最高启动加速度。

3．静态转矩与矩角特性

当步进电动机上某相定子绕组通电之后，转子齿力求与定子齿对齐，使磁路中磁阻最小，转子处在平衡位置不动（θ=0）。

若在电动机轴上外加一负载转矩 M_z，转子会偏离平衡位置向负载转矩方向转过一个角度θ，称为失调角。有失调角之后，步进电机就产生一个静态转矩，这时静态转矩等于负载转矩。静态转矩与失调角θ的关系叫矩角特性，如图 3-8 所示，其近似为正弦曲线。该矩角特性上的静态转矩最大值称为最大静转矩 M_{jmax}。在静态稳定区内，当外加负载转矩除去时，转子在电磁转矩作用下，仍能回到稳定平衡点位置（θ=0）。

4．启动转矩

启动转矩是电机能带动负载转动的极限转矩。

5．启动频率

空载时，步进电机由静止状态突然启动，并进入不失步的正常运行的最高频率，称为启动频率或突跳频率，加给步进电机的指令脉冲频率若大于启动频率，步进电动机就不能正常工作。步进电动机在带负载下的启动频率比空载时要低，而且，随着负载加大启动频率会进一步降低。

6．连续运行频率

步进电动机启动后，其运行速度能根据指令脉冲频率连续上升而不丢步的最高工作频率，称为连续运行频率。该值远大于启动频率，它随电动机所带负载的性质和大小而异，与驱动电源也有很大关系。

7．矩频特性与动态转矩

矩频特性是描述步进电动机连续稳定运行时输出转矩与连续运行频率之间的关系，如图 3-9 所示，该特性上每一个频率对应的转矩称为动态转矩。当步进电动机正常运行时，若输入脉冲频率逐渐增加，则电动机所能带动的负载转矩将逐渐下降。在使用时，一定要考虑动态转矩随连续运行频率的上升而下降的特点。

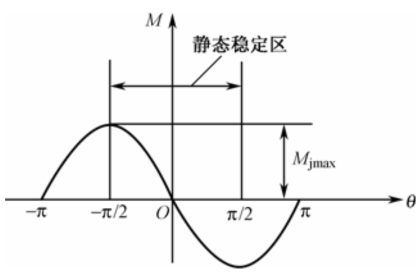


图 3-8　静态矩角特性

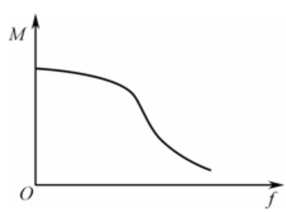


图 3-9　矩频特性

3.2　直流伺服电动机调速系统及其控制

功率步进电机用做开环进给系统的伺服驱动装置。由它组成的开环进给系统，性能不

能满足使用要求，而且其性能的提高也受到了很大的限制。因此，从 20 世纪 60 年代初期出现了小惯量直流伺服电机，70 年代初出现了大惯量直流伺服电机（又称宽调速电机）。目前许多数控机床均采用了大惯量直流伺服电机组成的闭环或半闭环进给系统。

直流电机的工作原理是建立在电磁力定律基础上的，电磁力的大小正比于电机中的气隙磁场。直流电机的励磁绕组所建立的磁场是电机的主磁场，按对励磁绕组的励磁方式不同，直流电机可分为他激式、并激式、串激式、复激式、永磁式。20 世纪 80～90 年代，永磁式直流伺服电机在数控机床中广泛采用。

3.2.1 直流伺服电动机的结构及调速

直流伺服电动机的结构与一般直流电机的结构原理是完全相同的，不同的是为了减小转动惯量机身做得细长一些。图 3-10 所示直流伺服电动机转子上的载流导体（即电枢绕组）在定子磁场中，受到电磁转距 M 的作用，使电机转子旋转。

直流伺服电机的机械特性公式与他励直流电机一样：

$$n = \frac{U_2}{K_E\phi} - \frac{R_a}{K_E K_T \phi^2}T$$

其中 n——电枢转速；

R_a——电枢电阻；

$U2$——电枢电压；

K_T ——转矩常数，对于已制成的直流电机而言是一个常数；

K_E——电动势常数；

ϕ——电机每极有效磁通量；

T——电机转矩。

直流伺服电动机的调速方法，可从以下几点考虑：

① 改变电枢电压 U_2；

② 改变磁通量，改变激磁回路的电阻 R_j 以改变激磁电流 I_j，可以达到改变磁通的目的；

③ 在电枢回路中串联调节电阻；

④ 在激磁回路中串联调节电阻。

3.2.2 直流伺服电动机的机械特性

直流伺服电动机的机械特性曲线如图 3-11 所示，具体说明如下：

① 励磁电压 U_1（即磁通 ϕ）不变时，在一定的负载下，电枢电压 U_2 升高，转速增大；

② 电枢电压 U_2=0 时，电机立即停转。

要使直流伺服电动机反转，只需改变电枢电压的极性。

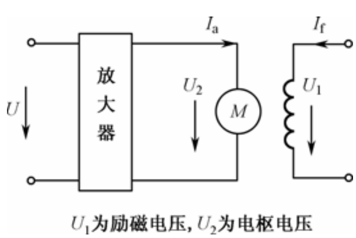


图 3-10 直流伺服电动机结构图

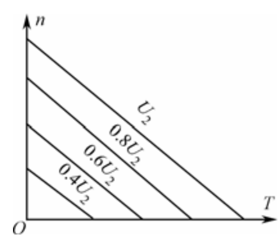


图 3-11 机械特性曲线

3.2.3　直流伺服电动机的特点及应用

直流伺服电动机的特点如下：

① 过载倍数大，时间长；

② 具有大的转矩转动惯量比，电机的加速度大，响应快；

③ 低速转矩大，惯量大，可与丝杠直接相连，省去了齿轮等传动机构，提高了机床的加工精度；

④ 调速范围大，与高性能的速度控制单元组成速度控制系统时，调速范围超过 1∶2 000；

⑤ 带有高精度的检测元件（包括速度和转子位置检测元件）；

⑥ 电机允许温度达 150～180℃，由于转子温度高，可通过轴传到机械装置上去，这会影响机床的精度；

⑦ 由于转子惯性较大，因此电源装置的容量及机械传动件等的刚度都需相应增加。

直流伺服电机的特性较交流伺服电机硬，经常用在功率稍大的系统中，其输出功率一般为 1～600W。直流伺服电机的用途很多，如用于随动系统中的位置控制等。

3.3　交流伺服电动机调速系统及其控制

由于直流伺服电机具有优良的调速性能，20 世纪 80 年代初至 90 年代中，在要求调速性能较高的场合，直流伺服电机调速系统的应用一直占据主导地位。但其存在一些固有的缺点，即电刷和换向器易磨损，维护麻烦，结构复杂，制造困难，成本高。而交流伺服电机则没有上述缺点。特别是在同样体积下，交流伺服电机的输出功率比直流电机提高了 10%～70%，且可达到的转速比直流电机高。因此，人们一直在寻求用交流电机调速方案来取代直流电机调速方案。

3.3.1　交流伺服电动机的分类及结构

在交流伺服系统中，按电机种类可分为同步型和异步型（感应电机）两种。数控机床进给伺服系统中多采用永磁式同步电机，同步电机的转速是由供电频率决定的，即在电源电压和频率固定不变时，其转速稳定不变。由变频电源供电给同步电机时，能方便地获得与频率成正比的可变速度，可以得到非常硬的机械特性及宽的调速范围。同步电机的原理与两相交流异步电机相同，定子上装有两个绕组：励磁绕组和控制绕组，这两个绕组在空间相隔 90°，如图 3-12 所示。

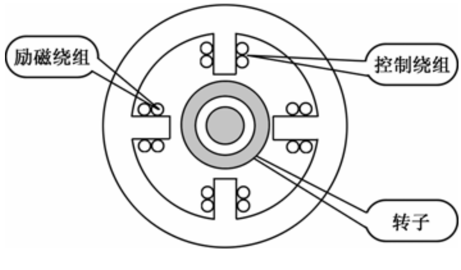


图 3-12　同步电机原理图

3.3.2　交流伺服电动机的接线

交流伺服同步电动机常用的接线方式有两种：励磁绕组接线和控制绕组接线，如图 3-13 所示。

励磁绕组中串联电容 C 的目的是为了产生两相旋转磁场。适当选择电容的大小，可使通入两个绕组的电流相位差接近 90°，由此产生旋转磁场，在旋转磁场的作用下，转子便转动起来。

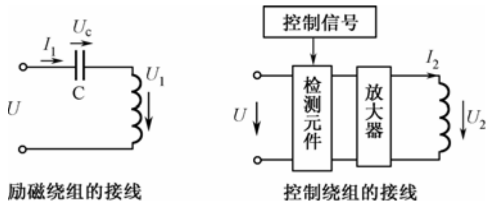


图 3-13　交流伺服电动机的接线图

例如：选择适当的电容，可使交流伺服电机电路中电压与电流的相量关系如图 3-14 所示。

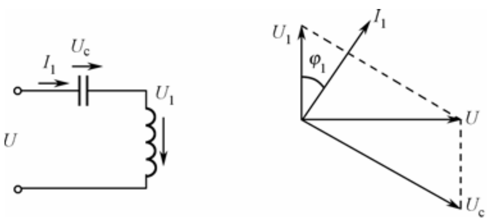


图 3-14　励磁绕组的接线与电压、电流的相量关系

3.3.3　交流伺服电动机的运行特性

交流伺服电动机的运行特性包括机械特性和调节特性，并且交流伺服电动机的这两个特性均为非线性的。现以电容伺服电动机为例介绍这两个特性。

1．交流伺服电动机的机械特性

当交流伺服电动机的励磁电压与控制电压的幅值相等且相位差为 90°时，将产生圆形磁场。这时机械特性曲线与一般的异步电动机相似，如图 3-15 中曲线 1 所示，显然 1 的非线性较重。当控制电压只是幅值变小时，则磁场变为椭圆形旋转磁场，且产生的合成转矩也随之减小，所以曲线向下移动。随着控制电压幅值的不断下降，曲线不断下移，同时理想空载（即 T=0 时）转速也不断下降，但非线性程度却越来越轻。一般要求机械特性应保证从零转速到理想空载转速范围内能平滑调速，以曲线平滑、线性度高为最好。

2．交流伺服电动机的调节特性

根据机械持性曲线，能够很容易画出调节特性曲线。在机械特性图上，画出一系列平行于横轴的转矩线，每一转矩线与各自不同的控制电压的机械特性曲线相交，将这些交点所对应的转速及控制电压画成曲线，就得到该输出转矩下的调节特性。不同的转矩线，可以得到不同输出转矩下的调节特性，如图 3-16 所示。

有了这两个特性，就能分析电动机转速随控制电压变化的情况。在图 3-15 中，如电动

机拖动负载 T_L，当控制电压为 U_{c4} 时，电动机运行在 a 点，转速为 n_a；如果控制电压升高到 U_{c3} 时，由于 $U_{c3}>U_{c4}$，则电动机的电磁转矩随之增加，但由于惯性，电动机转速不能突变，于是电动机运行于 c 点，这时电动机产生的电磁转矩大于负载转矩，于是电动机沿特性曲线加速，一直加速到 b 点，这时电动机产生的电磁转矩又重新等于负载转矩、电动机稳定运行于 b 点，电动机转速从 n_a 升高到 n_b，实现了用调节控制电压的方法来控制转速。

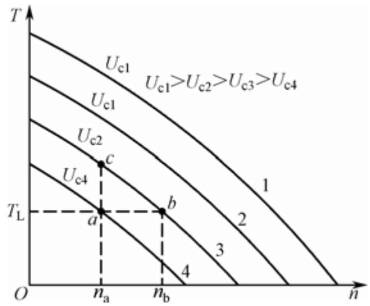


图 3-15　交流伺服电动机的机械特性曲线

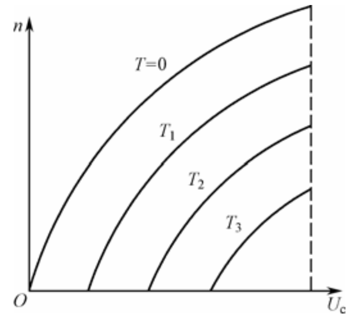


图 3-16　交流伺服电动机的调节特性曲线

3．交流伺服电动机的应用

交流伺服电动机的输出功率一般为 0.1～100W，电源频率分 50Hz、400Hz 等多种。该电动机的应用很广泛，如用在数控机床、自动控制、温度自动记录等系统中。

3.4　数控机床电气原理图的画法规则

电气控制线路是由各种有触点的接触器、继电器、按钮、行程开关等组成的，其作用是实现对电力拖动系统的启动、反向、制动和调速等运行性能的控制，实现对拖动系统的保护，满足生产工艺要求、实现生产加工自动化。各种机床的加工对象和生产工艺要求不同，电气控制线路就不同，有比较简单的，也有相当复杂的。但任何复杂的电气控制线路，都是由一些比较简单的基本环节根据需要组合而成的。因此掌握和识读这些线路图非常必要。

电气控制系统是由电动机和各种控制电器（如接触器、继电器、电阻器、开关等）组成的。电气控制系统中各电气元件及其连接图称为电气控制系统图，电气控制系统图包括电气原理图、电气布置图和电气安装图。数控机床电气原理图与普通机床电气控制线路图的画法规则一致，为便于理解，常选用普通机床为例来进行描述。

3.4.1　电气原理图

电气原理图是用图形符号和项目代号表示电器元件连接关系及电气工作原理的图形，它是在设计部门和生产现场广泛应用的电路图。图 3-17 所示的是 CW6132 型车床电气控制系统的电气原理图。

绘制电气原理图时应遵循如下原则。

① 主电路标号由文字符号和数字组成，其中文字符号标明主电路中的电气元件或线段的主要特征，数字区别电路的不同线段。如图中的 U、V、W，U1、V1、W1 和 U2、V2、W2 等。

② 控制电路采用阿拉伯数字编号，由三位或三位以下的数字组成。在垂直绘制的电路中，标号顺序由上而下、由左到右编号，凡是被线圈、绕组、触头或电阻、电容等元件所间隔的线段，都应标以不同的电路标号。

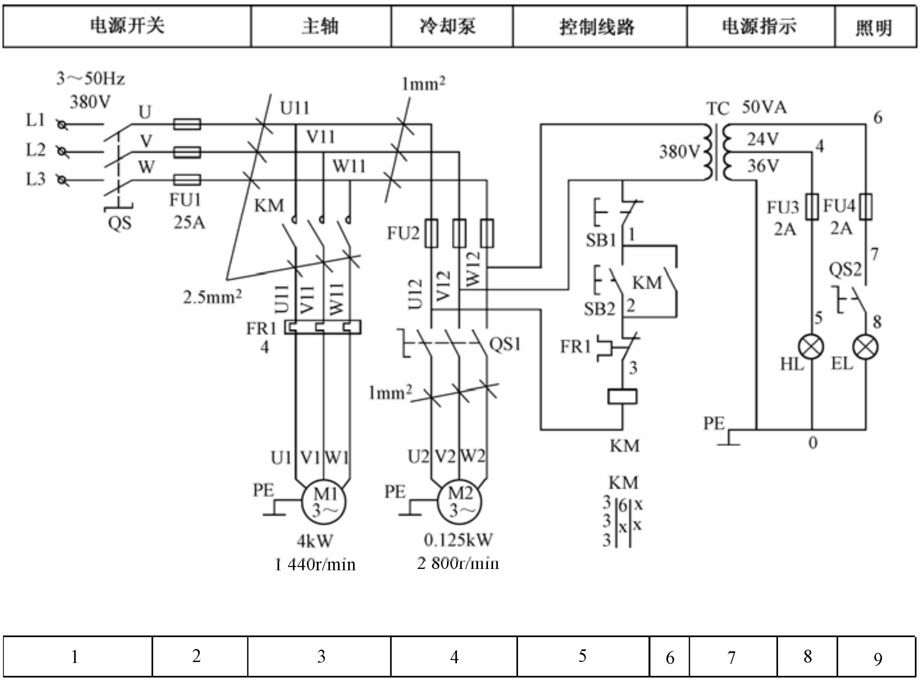


图 3-17　CW6132 型车床电气原理图

③ 从电源到电动机大电流通过的主电路，用粗线条绘制；辅助电路（包括控制电路、照明电路和信号电路）的电流小，用细线条绘制。

④ 无论主电路还是辅助电路，各电气元件按动作顺序从上到下、从左到右依次排列，可垂直布置或水平布置。

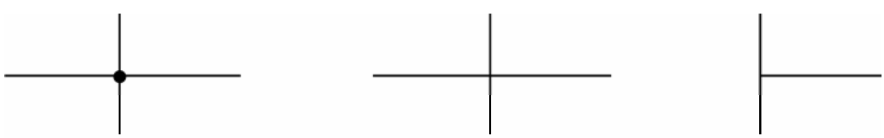
⑤ 标出各电源电路的电压值、极性或频率及相数。

⑥ 继电器、接触器的触头，按吸引线圈未通电状态画；按钮、行程开关的触点，按不受外力作用时的状态画。

⑦ 同一电器的各导电部件（如继电器、接触器的线圈和触点），按照其在电路中的联系分开画，但用相同的文字符号表示；对完成相同性质作用的几个电器，在相同的文字符号右下角加上数字序号，以示区别。

⑧ 动力电路的电源电路绘成水平线，电动机及其保护电器支路，应垂直电源电路画出；辅助电路垂直地绘在两条或多条水平电源线之间，线圈、电磁铁、照明灯、信号灯、指示灯，接在接地的水平电源线上。

⑨ 有直接电联系的十字交叉导线连接点，必须用黑圆点表示，否则不画黑圆点，具体表示如图 3-18 所示。



（a）交叉节点为通路　（b）交叉节点为断路　（c）T字节点

图 3-18　交叉节点的通断

3.4.2 电气安装图

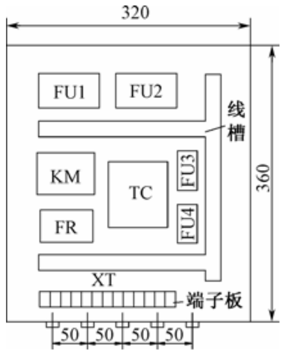


图 3-19 某机床电气安装图

电气安装图用来表示电气设备和电气元件的实际安装位置，是机械电气控制设备制造、安装和维修必不可少的技术文件。安装图可集中画在一张图上或将控制柜、操作台的电气元件行置图分别画出，但图中各电器元件代号应与有关原理图和元器件清单上的代号相同。在安装图中，机械设备轮廓是用双点画线画出的，所有可见的和需要表达清楚的电气元件及设备均使用粗实线绘出其简单的外形轮廓，其中电气元件不需标注尺寸。某机床电气安装图如图 3-19 所示。

3.4.3 电气接线图

电气接线图用来表明电气设备各单元之间的接线关系，如图 3-20 所示为 CW6132 车床的电气接线图。电气接线图主要用于安装接线、线路检查、线路维修和故障处理，在生产现场有广泛的应用。识读电气接线图时应熟悉绘制电气接线图的 4 个基本原则：

① 各电气元件的图形符号、文字符号等均与电气原理图一致；

② 外部单元同一电器的各部件画在一起，其布置基本符合电气实际情况；

③ 不在同一控制箱和同一配电屏上的各电气元件的连接是经接线端子排实现的，电气互连关系以线束表示，连接导线应标明导线参数（数量、截面积、颜色等），一般不标注实际布线途径；

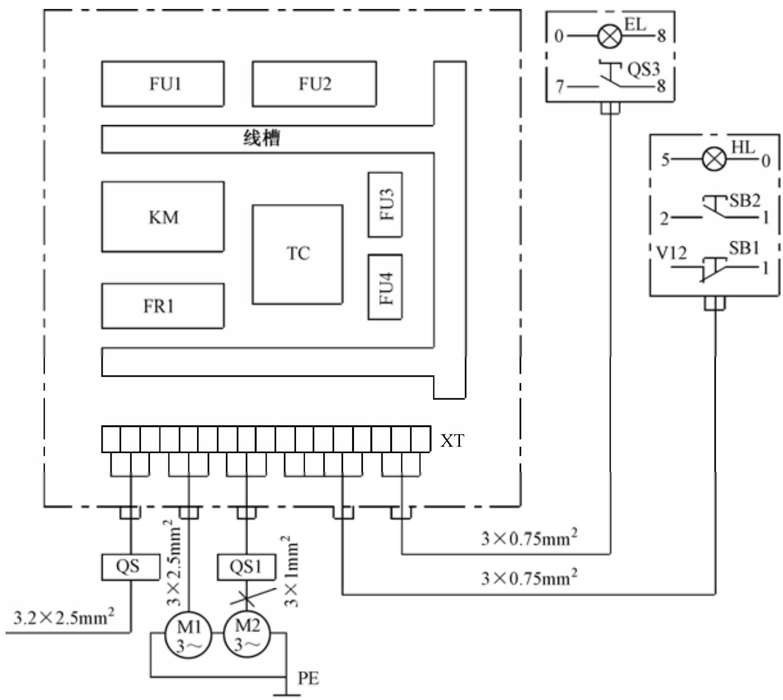


图 3-20 CW6132 车床的电气接线图

④ 对于控制装置的外部连接线，应在图上或用接线来表示清楚，并标明电源引入点。

3.4.4　图面区域的划分

为了确定图上内容的位置及用途，应对一些幅面较大、内容复杂的电气图进行分区。分区方法及其标注垂直布置于电气原理图中，上方一般按主电路及各功能控制环节自左至右进行文字说明分区，各分区方框内加注文字说明，帮助机床电气原理的阅读理解；下方一般按“支路居中”原则从左至右进行数字标注分区，各分区方框内加注数字，以方便继电器、接触器等电器触头位置的查阅。“支路居中”原则是指各支路垂线应对准数字分区方框的中线位置。

对于水平布置的电气原理图，则实行左右分区，左方自上而下进行文字说明分区，右方自上而下进行数字标注分区。

1．触头索引代号

电气原理图中的交流接触器与继电器，因线圈、主触头、辅助触头所起作用各不相同，为清晰地表明机床电气原理图的工作原理，这些部件通常绘制在各自发挥作用的支路中。在幅面较大的复杂电气原理图中，为检索方便，需在电磁线圈图形符号下方标注电磁线圈的触头索引代号，如图 3-21 所示。

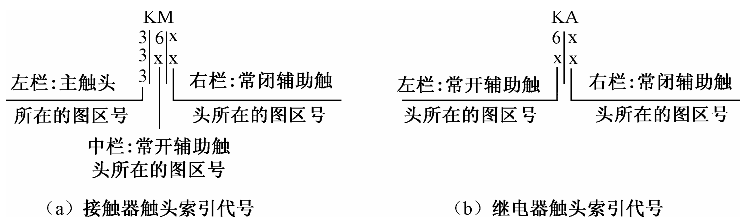


图 3-21　电磁线圈的触头索引代号

接触器触头索引代号分为左、中、右三栏，左栏数字表示主触头所在的图区号，中栏数字表示常开辅助触头所在的图区号，右栏则表示常闭辅助触头所在的图区号。

继电器触头索引代号分为左、右两栏，左栏表示常开辅助触头所在的图区号，右栏表示常闭触头所在的图区号。

2．技术数据的标注

在电气原理图中还应标注各电气元件的技术数据，如熔断器熔体的额定电流、热继电器的动作电流范围及其整定值、导线的截面积等。

3.5　数控机床电气控制的逻辑表示

1．机床电气控制的逻辑表示

逻辑变量通常只有“1”、“0”两种取值，表示两种相反的逻辑状态。在电气控制中，通常用逻辑变量来描述开关、线圈元件触点的开关状态，线圈的通断电状态。通常“1”表示线圈通电、开关闭合状态，“0”则正好相反。也可使用“真”、“假”和字母表示逻辑状态。

2．逻辑运算法则

（1）逻辑与电路

如图 3-22 所示为触点串联实现逻辑与运算，逻辑与运算相当于算术运算中的“乘”运

算，用符号“•”表示。图 3-22 中的电路可用逻辑表达式表示为：

$$KM=KA1\cdot KA2$$

（2）逻辑或电路

如图 3-23 所示为触点并联实现逻辑或运算，逻辑或运算相当于算术运算中的“加”运算，用符号“+”表示。图 3-23 中的电路可用逻辑表达式表示为：

$$KM=KA1+KA2$$



图 3-22　逻辑与运算

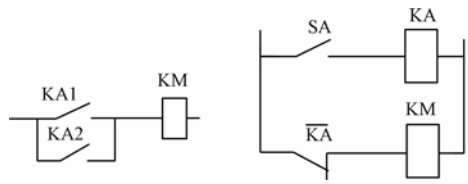


图 3-23　逻辑或运算

（3）逻辑非电路

如图 3-24 所示为触点连接实现逻辑非运算，逻辑非用符号“—”表示，图 3-24 中的电路可用逻辑表达式表示为：

$$KM=\overline{KA}$$

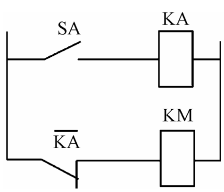


图 3-24　逻辑非运算

3．逻辑代数的基本公式

下面是逻辑代数中的一些基本公式。

0 定则：$0+A=A$

1 定则：$1+A=1$

互补定律：$A+\overline{A}=1$

同一定律：$A+A=A$

反转定律：$\overline{\overline{A}}=A$

交换律：$A+B=B+A$

结合律：$(A+B)+C=A+(B+C)$

分配律：$A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$，$(A+B)\cdot C=A\cdot C+B\cdot C$

反演律（摩根定理）：$\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$，$\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$

3.6　电气控制基本环节

3.6.1　三相笼型异步电动机的直接启动控制线路

1．直接启动控制线路

直接启动是一种最简单的启动方式。启动时，通过一些直接启动设备把全部电源电压（即全压）直接加到电动机的定子绕组。一般规定异步电动机的功率低于 7.5kW 时允许启动，如果功率大于 7.5kW 但符合下式也可直接启动：

$$\frac{启动电流}{额定电流}\leq\frac{1}{4}\left(3+\frac{电源总容量}{启动电动机容量}\right)$$

如果不满足上式，则必须采用降压启动的方法。

图 3-25 所示是用开关直接启动的线路，一般用于小型台钻和砂轮机等设备。图 3-26 所示是用接触器直接启动的线路，许多中小型机床的主电动机都采用此启动方式。

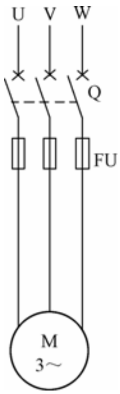


图 3-25　用开关直接启动线路

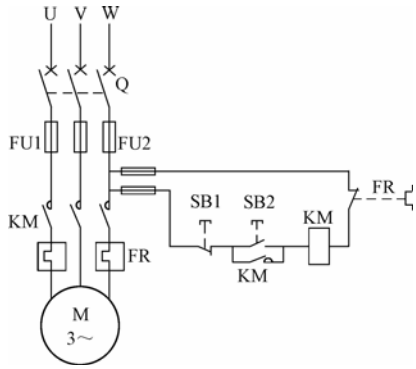


图 3-26　用接触器直接启动线路

2．长动与点动控制线路

图 3-27 中的接触器辅助触点 KM 是自锁触点，其作用是当放开启动按钮 SB2 后仍可保证 KM 线圈通电，电动机运行（长动）。通常将这种用接触器本身的触点来使其线圈保持通电的环节称为自锁环节。如果启动按钮 SB2 不并联触点 KM，则松开 SB2 后 KM 线圈断电，电动机停止运行，此即为点动方式。点动用于机床刀架、横梁、立柱的快速移动及机床的调整对刀等。图 3-27（a）、（b）、（c）分别为用按钮、开关、中间继电器来实现点动的控制线路。长动与点动的主要区别是控制电器能否自锁。

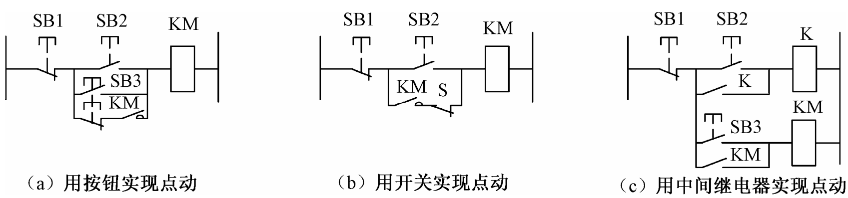


图 3-27　点动控制线路

3．多点启停控制线路

在大型机床设备中，为了方便操作，常要求能在多个地点对机床进行控制。如图 3-28（a）中将启动按钮并联、停止按钮串联，可在三个地方对机床实现启动停止控制；图 3-28（b）中则将启动按钮串联，只有几个启动按钮都被压下时设备才能工作，可保证操作安全。

4．顺序启停控制线路

有些机床要求电动机能够经常有序地启动，比如主轴必须在液压泵工作后才能工作，主轴旋转后工作台才能运动，主轴停转后润滑泵才能停止工作，等等。如图 3-29 中，为保证电动机 M1、M2 的顺序启动，启动时先合上开关 Q，按下 SB2，KM1 线圈得电自保，电动机 M1 启动运转；再按下 SB4，KM2 线圈得电自保，M2 启动，同时将 SB1 锁住。停车时，先按下 SB3，KM2 线圈失电，其常开辅助触头复位，M2 停转；再按下 SB1，KM1 线圈失电，M1 停转。

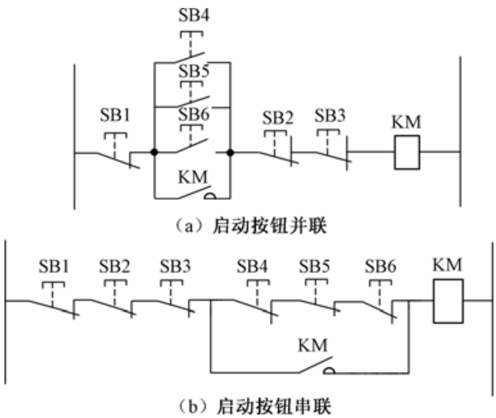


图 3-28　多点启停控制线路

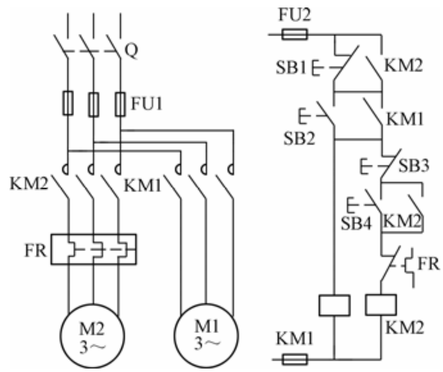


图 3-29　顺序启停控制线路

3.6.2　三相笼型异步电动机的降压启动控制线路

当三相笼型异步电动机不满足直接启动条件时，电动机必须采用降压启动，将启动电流限制在允许的范围内。常用的降压启动方法有定子串电阻降压启动、Y-△降压启动和自耦变压器降压启动三种。

1．定子串电阻降压启动

定子串电阻降压启动时，在三相定子电路上串接电阻 R，使加在电动机绕组上的电压降低，启动完成后再将电阻 R 短接，电动机加额定电压正常运行。这种启动方式利用时间继电器的延时动作控制各电气元件的先后顺序动作，称为按时间顺序的控制，其典型控制线路如图 3-30 所示。

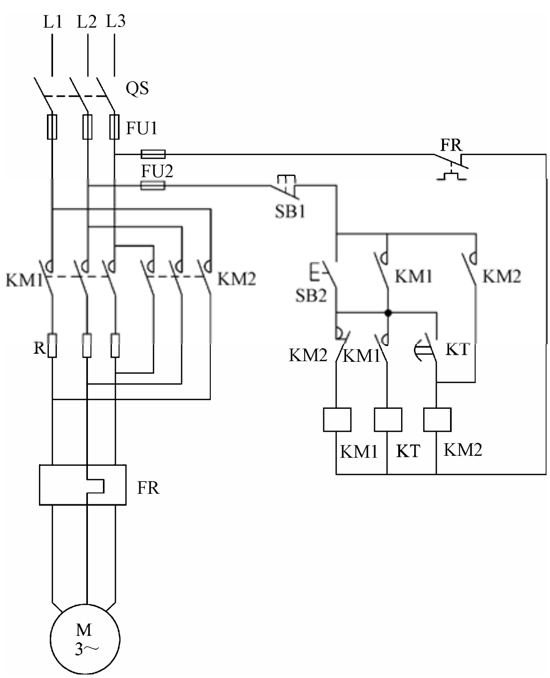


图 3-30　定子串电阻降压启动控制线路

该线路的工作过程如下。

（1）启动

① KM1 自锁触头闭合；合上电源开关 QS，按下 SB2→KM1 线圈得电。

② KM1 主触头闭合。

③ 电动机串联电阻 R 后启动。

④ KM1 常开触头闭合→KT 线圈得电。

⑤ KM2 线圈得电→KM2 自锁触头闭合。

⑥ KM2 主触头闭合（短接电阻 R）。

⑦ 电动机 M 全压运行。

⑧ KM2 常闭触头断开。

⑨ KM1、KT 线圈断电释放。

（2）停止

按下 SB1→KM2 线圈断电释放→M 断电停止。

启动电阻 R 一般采用 ZX1、ZX2 系列铸铁电阻，功率大，能够通过较大电流；三相电路中每相所串电阻阻值相等。

定子绕组串电阻降压启动不受电动机接线形式限制，线路简单。中小型机床常用这种方法限制点动调整时电动机的启动电流，如 C650 型车床、T68 型卧式镗床、T612 型卧式镗床等。

2. Y-△降压启动

正常运行时定子绕组接成△连接的笼型异步电动机，常用Y-△降压启动的方法限制启动电流。启动时，定子绕组先接成Y形连接，待转速上升到接近额定转速时，再将定子绕组接成△形连接，电动机全压运行。图 3-31 所示为Y-△降压启动控制线路，其工作过程如下：

合上 Q，按下 SB2，KM2 线圈得电自保，KM1 线圈得电，使 M 进行Y形连接启动，同时 KT 线圈也得电。当 M 的转速接近额定转速时，到达时间继电器 KT 的整定时间，KT 的常闭延时触点先打开，KM1 线圈失电，KT 的常开延时触点后闭合，KM3 线圈得电自保，M 定子绕组以△形连接全压运转，同时 KT 线圈也失电。图中 KM1、KM3 的辅助常闭触点可防止 KM1、KM3 同时得电造成电源短路。

3. 自耦变压器降压启动

正常运行时定子绕组接成Y形连接的异步电动机，可用自耦变压器降压启动。启动时，定子绕组加上自耦变压器的二次电压，一旦启动完毕，自耦变压器被甩开，定子绕组加上额定电压正常运行。图 3-32 所示为自耦变压器降压启动控制线路，其工作过程如下：

合上 Q，按下 SB2，KM1 线圈得电，自耦变压器 T 作Y形连接，同时 KM2 线圈得电自保，电动机降压启动，KT 线圈得电自保。

当电动机的转速接近额定转速时，到达 KT 的整定时间，其常闭延时触头先打开，KM1、KM2 线圈先后失电，T 被断开，KT 的常开延时触头后闭合，在 KM1 的常闭辅助触头复位的前提下，KM3 得电自保，电动机全压运行。

电路中 KM1、KM3 的常闭辅助触头是为了防止线圈 KM1、KM2、KM3 同时得电将 T 的一部分绕组短接而使其余部分绕组烧坏。

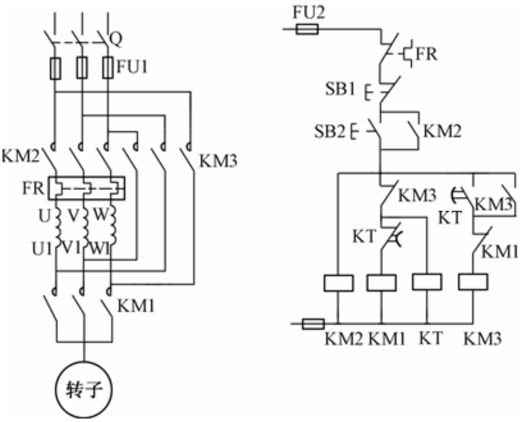


图 3-31　Y-△降压启动控制线路

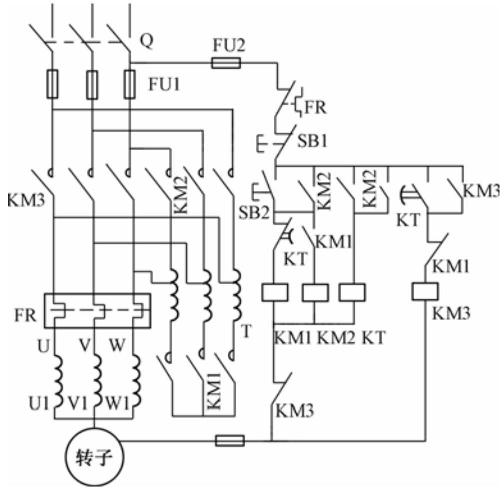


图 3-32　自耦变压器降压启动控制线路

3.6.3　电动机正反转控制线路

1．互锁控制线路

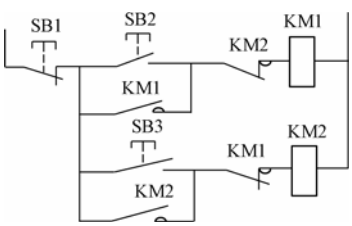


图 3-33　互锁控制线路

在电气控制系统中，有时要求两个电动机 M1 和 M2 不能同时接通，或同一电动机驱动的执行元件有两个相反的动作（如主轴的正反转、工作台的上下双向移动等），或两个电气元件不允许同时得电，这时就要用到互锁控制线路。如图 3-33 所示，分别将 KM1、KM2 的动断（常闭）触点串接在对方线圈所在电路，使 KM1、KM2 的触点互相制约，可保证 KM1、KM2 的线圈不会同时得电。此外，还可将复合按钮或行程开关的常闭触头串接在对方接触器的线圈电路中，实现机械互锁。

2．正反转控制线路

大多数机床的主轴或进给运动都需要在正反两个方向运行，故要求电动机能够正反转。在电工学课程中知道，只要把电动机定子三相绕组的任意两相调换一下接到电源上，电动机定子的相序即可改变，从而就可改变电动机的方向。

如果用两个接触器 KM1 和 KM2 来完成电动机定子绕组相序的改变，则将正转与反转启动线路组合起来就是正反转控制线路，如图 3-34 所示。

正反转控制线路的工作过程是：当电动机 M 停转时，若要 M 正转，则按下 SB2，其常闭触头先打开，其常开触头后闭合，KM1 线圈得电，其常闭辅助触头先断开，其常开主触头后闭合，M 正向启动运转，常开辅助触头闭合自保；当 M 正转时，若要 M 反转，则按下 SB3，其常闭触头先打开，KM1 线圈失电，M 的定子切断正序电源，其常开触头后闭合，在 KM1 常闭触头复位的前提下，KM2 线圈得电自保，M 反转。M 反转变为正转与正转变为反转类似。此控制线路采用复合按钮 SB2、SB3 与接触器 KM1、KM2 联合控制，可避免由于 KM1 或 KM2 的常闭辅助触头烧结而造成的电源短路。

有的机床工作台需要自动往返运行，自动往返运行利用行程开关来检测往返运动的相

对位置。图 3-35 为机床工作台往返运动的示意图，行程开关 SQ1（反向转正向）、SQ2（正向转反向）分别固定安装在床身上，反映循环的两个端点，撞块 A、B 固定在工作台上，随着运动部件的移动可压下行程开关 SQ1、SQ2，使其触头动作，并使电动机正、反向运转。

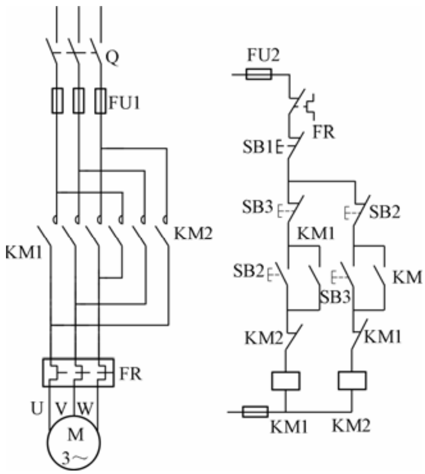


图 3-34　正反转控制线路

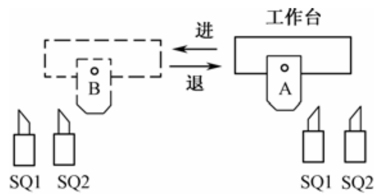


图 3-35　工作台往返运动示意图

图 3-36 为往复自动循环的控制线路，其工作过程是：合上 Q，按下 SB2，KM1 线圈得电自锁，M 正转，驱动运动部件前进；当前进到位，撞块 B 压下 SQ2，其常闭触头断开，KM1 线圈断电，M 切断正序电源，但 SQ2 常开触头闭合，又使 KM2 得电，M 反转，运动部件后退；当后退到位时，撞块 A 压下 SQ1 使 KM2 断电，KM1 通电，M 由反转变为正转，如此周而复始地自动往复工作。按下 SB1 时，M 停转。若换向行程开关 SQ1、SQ2 失灵，则由限位开关 SQ3、SQ4 的常闭触头切断 M 的电源，避免运动部件因超出极限位置而发生事故。

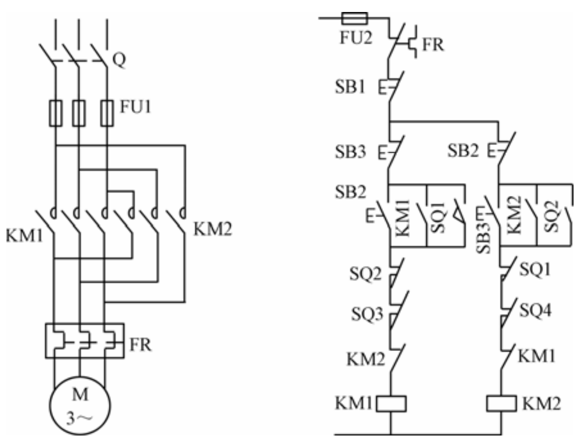


图 3-36　往复自动循环的控制线路

3.6.4　电动机制动控制线路

电动机从切断电源到完全停止旋转，由于惯性的关系，总要经过一段时间。为了缩短辅助时间，提高生产效率，使停机位置准确，并为了安全生产，要求电动机能迅速停车。

一般采用机械制动和电气制动，机械制动采用机械抱闸或液压装置制动，电气制动是使电动机在停车时产生一个与原旋转方向相反的制动力矩。机床中常用的电气制动是反接制动和能耗制动。

1．反接制动

反接制动是利用改变异步电动机定子绕组中的三相电源相序，产生与转子惯性旋转方向相反的转矩，因而产生制动作用。反接制动的过程为：停车时，首先将三相电源切换，然后当电动机转速较低时再将三相电源切断。

图 3-37 所示为单向反接制动线路，其工作过程如下：

合上 Q，按 SB2，KM1 得电自锁，电动机 M 正转，当转速达到速度继电器 KV 的整定值时，KV 的常开触点闭合，为反接制动作好准备。M 停车时，按下 SB1，SB1 的常闭触点先打开，KM1 失电，切断 M 的正序电源，但 M 因惯性仍以很高的转速继续旋转，原已闭合的 KV 常开触点仍闭合，SB1 的常开触点后闭合，由于此时 KM1 的常闭辅助触点已复位，所以 KM2 得电自锁，M 定子串接两相电阻进行反接制动。当 M 的转速下降到低于 KV 的整定值时，KV 的常开触点复位，KM2 失电，M 切断反序电源自然停车至零。

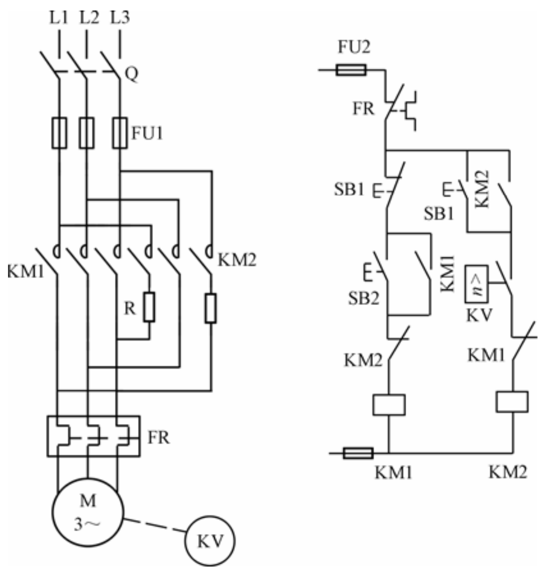


图 3-37　单向反接制动线路

由于反接制动时，转子与定子旋转磁场间的速度接近两倍的同步转速，所以定子绕组中流过的反接制动电流相当于全电压直接启动时的两倍，故较大功率的电动机进行反接制动时，须在电动机两相或三相定子绕组中串接一定的电阻以限制制动电流。

反接制动时，旋转磁场的相对速度很大，定子电流也很大，因此制动效果显著。但在制动过程中有冲击，对传动部件不利，能量消耗也较大，故用于不太经常启、制动的设备，如铣床、镗床、中型车床主轴的制动。

2．能耗制动

能耗制动是在电动机要停车时切断三相交流电源的同时，把定子绕组接入电源，利用转子感应电流与静止磁场的作用以达到制动的目的，在转速接近于零时再切除直流电源。能耗制动实质上是把转子原来储存的机械能转变为电能，消耗在转子的制动上，所以称为能耗

制动。一般可用时间继电器按时间控制原则或用速度继电器按速度控制原则来进行制动，对制动准确性要求不高的机床也可以手动控制。

图 3-38 是用时间继电器按时间控制原则设计的单向能耗制动控制线路，图中 KM1 为单向运行接触器，KM2 为能耗制动接触器，KT 为时间继电器，T 为整流变压器，VC 为桥式整流电路。

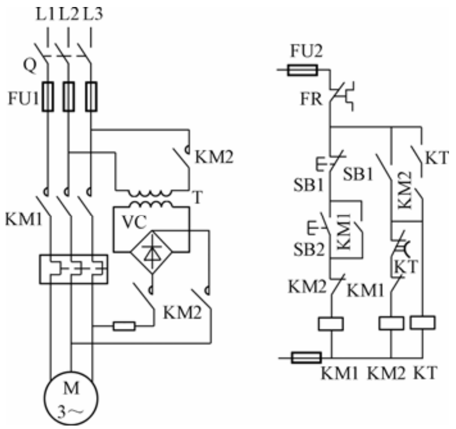


图 3-38　时间继电器控制的单向能耗制动控制线路

该电路的工作过程如下：合上 Q，按下 SB2，KM1 得电自保，电动机 M 启动。停车时，按下 SB1，其常闭触头先断开，KM1 失电，M 定子切断三相电源；SB1 的常开触头后闭合，KM2、KT 同时得电自保，如果 M 定子绕组为Y形连接，则将两相定子绕组接入直流电源进行能耗制动。M 在能耗制动作用下转速迅速下降，当转速接近零时，到达 KT 的整定时间，其延时常闭触头打开，KM2、KT 相继断电，制动结束。

该电路中，将 KT 常开瞬动触点与 KM2 自保触点串联，是考虑 KT 断线或机械卡住致使常闭延时触点不能断开时，不致于使 KM2 长期得电，造成 M 定子绕组长期通过直流电流而过热。

图 3-39 是用速度继电器按速度控制原则设计的双向能耗制动控制线路，图中 KM1、KM2 为正、反转接触器，KM3 为制动接触器，KV1、KV2 为速度继电器。

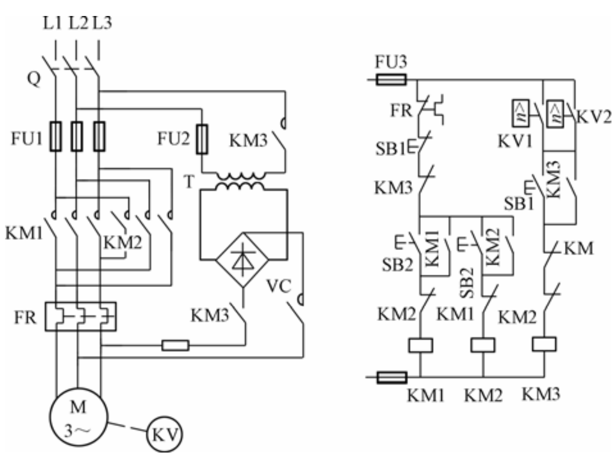


图 3-39　速度继电器控制的双向能耗控制动控制线路

电动机 M 正向启动运转停车时的能耗制动过程为：合上 Q，按下 SB2，KM1 得电自保，M 正向启动运转，当正向转速达到 KV1 的整定值时，KV1 的常开触点闭合；停车时，按下 SB1，其常闭触点先打开，KM1 失电，由于惯性 M 的转速还很高，KV1 的常开触点仍闭合，在 SB1 的常开触点闭合时，KM3 得电自锁，M 定子绕组接通直流电进行能耗制动，M 的转速迅速下降，当正向转速低于 KV1 的整定值时，KV1 的常开触点复位，KM3 失电，能耗制动结束，以后 M 自然停车。

M 反向启动运转停车时的能耗制动过程与正向类似，不再赘述。

与反接制动相比较，能耗制动具有制动准确、平稳、能量消耗小等优点，但制动力较弱，特别是在低速时尤为突出。另外它还需要直流电源。故能耗制动适用于要求制动准确、平稳的场合，如磨床、龙门刨床及组合机床的主轴定位等。

3.6.5　双速电动机的高低速控制线路

有些生产机械不需要连续变速，使用变速电动机即可满足要求。与普通电动机不同的是，变速电动机的定子备有多组绕组，改变其接法，就可改变电动机的磁极对数，从而改变其转速。双速电动机的机床中，如车床、铣床、镗床等都有较多应用。双速电动机就是通过改变定子绕组的磁极对数来改变其转速的。如图 3-40 所示，将出线端 D1、D2、D3 接电源，D4、D5、D6 端悬空，则绕组为三角形，每相绕组中两个线圈串联，构成 4 个极，电动机为低速；当出线端 D1、D2、D3 短接，而 D4、D5、D6 端接电源，则绕组为双星形，每相绕组中两个线圈并联，构成 2 个极，电动机为高速。

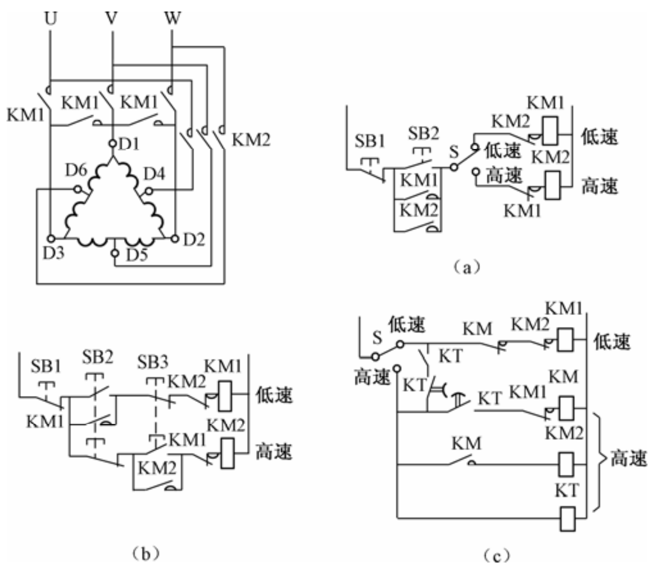


图 3-40　3 种双速电动机高低速控制线路

图 3-40 所示为 3 种双速电动机高、低速控制线路，接触器 KM1 动作为低速，KM2 动作为高速。图 3-40（a）用开关 S 实现高、低速控制。图 3-40（b）用复合按钮 SB2 和 SB3 实现高、低速控制。采用复合按钮连锁，可使高、低速直接切换，而不必经过停止按钮。图 3-40（c）用开关 S 转换高、低速。接触器 KM1 动作，电动机为低速运行状态，接触器 KM2 和 KM 动作，电动机为高速运行状态。当开关 S 达到高速时，由时间继电器的两个触头首先接通低速，经过延时后自动切换到高速，以便限制启动电流。

对功率较小的电动机，可采用如图 3-40（a）、（b）所示的控制方式；对较大容量的电动机，可采用如图 3-40（c）所示的控制方式。

3.6.6　电动机的保护环节

电气控制系统除了能满足生产机械的加工工艺要求外，要想长期正常无故障地运行，还必须有各种保护措施。保护环节是所有机床电气控制系统不可缺少的组成部分，它可以保护电动机、电网、电气控制设备及人身安全等。电气控制系统中常用的保护环节有短路保护、过载保护、过电流保护、零电压和欠电压保护及弱磁保护等。

1．短路保护

电动机绕组的绝缘、导线的绝缘损坏或线路发生故障时，会造成短路现象，产生短路电流并引起电气设备绝缘损坏和产生强大的电动力使电气设备损坏。因此在产生短路现象时，必须迅速地将电源切断。常用的短路保护元件有熔断器和自动开关。

（1）熔断器保护

熔断器的熔体串联在被保护电路中，当电路发生短路或严重过载时，它自动熔断切断电路，达到保护的目的。熔断器保护一般适用于对动作准确性和自动化程度要求不高的系统，如小容量的笼型电动机、一般的普通交流电源等。

（2）自动开关保护

自动开关又称自动空气熔断器，它有短路、过载和欠压保护功能，这种开关能在线路发生上述故障时快速地自动切断电源。它是低压配电的重要保护元件之一，常作为低压配电盘的总电源开关及电动机变压器的合闸开关。

在发生短路时，采用熔断器保护的很可能造成一相熔断器熔断，导致单相运行，而自动开关只要发生短路就会自动跳闸，将三相同时切断。自动开关结构复杂，操作频率低，广泛用于要求较高的场合。

2．过载保护

电动机长期超载运行，会使电动机绕组的温升超过其允许值，电动机的绝缘材料变脆，寿命缩短，严重时使电动机损坏。过载电流越大，达到允许温升的时间就越短。常用的过载保护元件是热继电器，热继电器可以满足以下要求：当电动机为额定电流时，电动机为额定温升，热继电器不动作；在过载电流较小时，热继电器要经过较长时间才动作；过载电流较大时，则热继电器经过较短时间就会动作。

由于热惯性的原因，热继电器不会受电动机短时过载冲击电流或短路电流的影响而瞬时动作，所以在使用热继电器过载保护的同时，还必须设有短路保护，并且短路保护熔断器熔体的额定电流不应超过 4 倍热继电器发热元件的额定电流。

3．过电流保护

过电流一般是由不正确的启动和过大的负载转矩引起的，通常比短路电流要小。在电动机运行中产生过电流要比发生短路的可能性更大，尤其是在频繁正反转启、制动的重复短时工作制动的电动机中更是如此。

对于三相笼型电动机，由于其短时过电流不会产生严重后果，一般不采用过电流保护而采用短路保护。直流电动机和绕线转子异步电动机一般采用过电流继电器来起短路保护的作用。

4．零电压与欠电压保护

当电动机正在运行时，如果电源电压因某种原因消失，那么在电源电压恢复时，电动机就将自行启动，这可能造成生产设备的损坏，甚至造成人身事故。对电网来说，同时有许多电动机及其他用电设备自行启动也会引起不允许的过电流及瞬间网络电压下降。为防止电压恢复时电动机自行启动的保护叫零压保护。一般常用电压继电器来实现零压保护，用按钮代替开关来操作也可实现零压保护。

当电动机正常运转时，电源电压过分地降低将引起一些电器释放，造成控制线路不能正常工作，可能产生事故；电源电压过分地降低也会引起电动机转速下降甚至停转。因此需要在电源电压降到一定允许值时将电源切断，这就是欠电压保护。一般常用欠电压继电器来实现欠电压保护。

5．弱磁保护

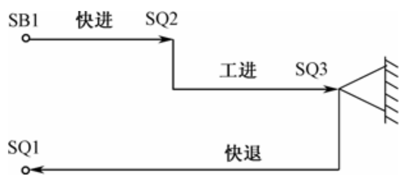
直流电动机在磁场有一定强度下才能启动，如果磁场太弱，电动机的启动电流就会很大；直流电动机正在运行时磁场突然减弱或消失，电动机的转速就会迅速升高，甚至发生飞车，因此需要采取弱磁保护。弱磁保护是通过在电动机的励磁回路中串入弱磁继电器（电流继电器）来实现的，在电动机运行中，如果励磁电流消失或降低很多，弱磁继电器就释放，其触点切断主回路接触器线圈的电源，使电动机断电停车。

3.6.7 电液联合控制

液压传动系统和电气控制线路相结合的电液控制系统在组合机床、自动化机床、生产自动线、数控机床等的应用越来越广泛。液压传动系统易获得很大的力矩，运动传递平稳、均匀，准确可靠，控制方便，易实现自动化。

许多机床的自动循环都是靠行程控制来完成的，某些机床（如龙门刨床、平面磨床等）的工作台要求正反向运动自动循环，除采用电动机正反转来实现外，采用电液联合控制更易满足这一要求，且电动机无须频繁正反转。下面以组合机床液压动力头的控制为例，说明电液联合控制的工作过程和特点。

组合机床的动力头是既能完成进给运动，又能同时完成刀具切削运动的动力部件。液压动力头的自动工作循环是由控制线路控制液压系统来实现的。图 3-41 是动力头工作循环示意图，图 3-42 是一次工作进给液压系统和电气控制线路图，其自动工作循环是：快进－工进－快退，具体的工作过程如下。



	1YA	2YA	3YA	转换主令
快　进	+	−	+	SB1
工　进	+	−	−	SQ2
快　退	−	+	−	SQ3
停　止	−	−	−	SQ1

图 3-41　动力头工作循环示意图

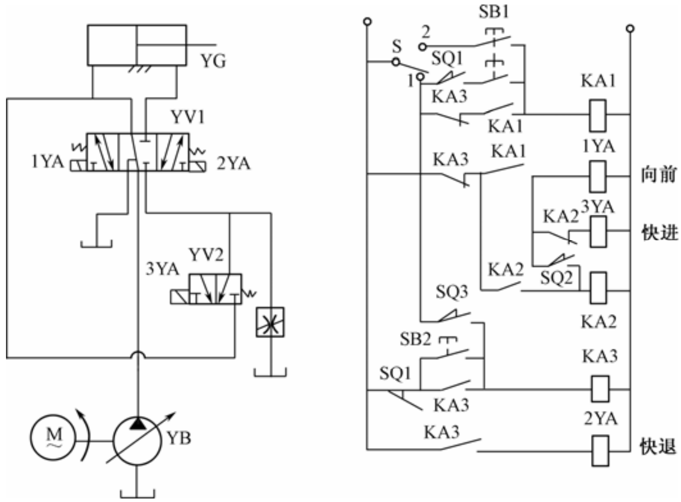


图 3-42　动力头工作循环液压及电气控制图

1．动力头原位停止

动力头由液压缸 YG 驱动，当电磁铁 1YA、2YA、3YA 都断电时，电磁阀 YV1 处于中间位置，动力头停止不动。动力头在原位时，限位开关 SQ1 由挡铁压住，其动合触点闭合，动断触点断开。

2．动力头快进

将转换开关 S 拨到“1”位置，按动按钮 SB1，中间继电器 KA1 得电动作，并自锁，其动合触点闭合，使电磁铁 1YA、3YA 通电。1YA 通电使电磁阀 YV1 左位工作，动力头向右运动（进）。由于 1YA、3YA 同时通电，除了接通工进油路外，经阀 YV2 将液压缸有杆腔内的回油排入无杆腔，形成差动连接，加大了油的流量，所以动力头做快速向前运动。

3．动力头工进

在动力头快进过程中，当挡铁压动开关 SQ2 时，其动合触点闭合，使 KA2 得电动作，KA2 的动断触点断开使 3YA 断电，动力头自动转换为工作进给状态；KA2 的动合触头接通自锁电路（即当挡铁离开 SQ2 时，SQ2 的触点复位，KA2 的线圈仍保持得电）。

4．动力头快退

当动力头工作进给到终点后，挡铁压下开关 SQ3，其动合触点闭合，使 KA3 得电动作并自锁，其动断触点打开，使 1YA、3YA 断电，动力头停止工进；KA3 的动合触点闭合，使 2YA 得电，电磁阀 YV1 右位工作，动力头快速退回；动力头退到原位后，开关 SQ1 被压下，其动断触点断开，使 KA3 断电，因此 2YA 也断电，动力头停止运动。

5．动力头“点动调整”

将转换开关 S 拨到“2”位置时，按动按钮 SB1 也可接通 KA1，使电磁铁 1YA、3YA 通电，动力头可向前快进。但由于 KA1 不能自锁，因此松开 SB1 后，动力头立即停止运动，故动力头可点动向前调整。

当动力头不在原位（SQ1 原态）、需要快退时，可按动按钮 SB2，使 KA3 得电动作而使 2YA 得电，动力头快速退回原位，压下 SQ1，使 KA3 断电，动力头停止。

在加工盲孔时，为了保证孔底的光洁和顺利断屑，需要刀具在孔底作一短暂的停留，可在上述控制线路的基础上，加一延时线路，得到这样的自动工作循环：快进－工进－延时停留－快退。其控制线路如图 3-43 所示，实际上就是多加了一个时间继电器 KT。当工进到终点后，压动开关 SQ3，使时间继电器 KT 通电，其瞬时动断触点 KT 断开，使 1YA、3YA 断电，动力头停止工进；到达时间继电器的整定时间后，其延时闭合触点闭合，使继电器 KA3 延时接通得电，即 2YA 通电后才开始快退。

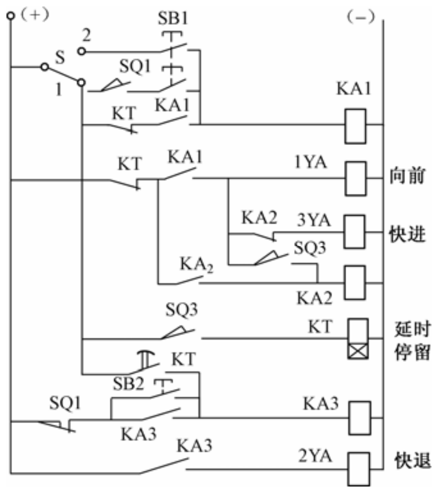


图 3-43 具有“延时停留”的控制线路

3.7 机床电气控制线路应用示例

本节将分析几种常用的车床、铣床、钻床、镗床和磨床的电气控制线路，从而使读者进一步掌握控制线路的组成、典型环节的应用及分析控制线路的方法，从中找出规律，逐步提高阅读电气原理图的能力，为独立设计打下基础。

3.7.1 C650 型卧式车床的电气控制线路

卧式车床可以用于切削各种工件的外圆、内孔、端面及螺纹。车床在加工工件时，根据工件材料的不同，应选择合适的主轴转速及进给速度。

C650 型卧式车床属于中型机床，图 3-44 为其电气原理图，其特点如下。

① 主轴正反转用正、反向接触器进行控制。

② C650 型车床主电动机的功率为 30kW，但因不经常启动，所以采用直接启动。

③ 为了对刀和调整工件，主轴电动机的控制线路设有点动环节。

④ 为提高工作效率，主轴电动机采用反接制动。在反接制动时，为减小制动电流，定子回路串入限流电阻 R。在点动时，R 也串入定子回路，防止频繁点动时使主电动机过热。

⑤ 为监测主轴电动机定子大电流，电流表通过电流互感器接入电路。为防止主轴电动机的启动电流及反接制动电流对电流表造成冲击，在主轴电动机启动和反接制动时，应给电流表并联一个时间继电器的通电延时打开的常闭触头。

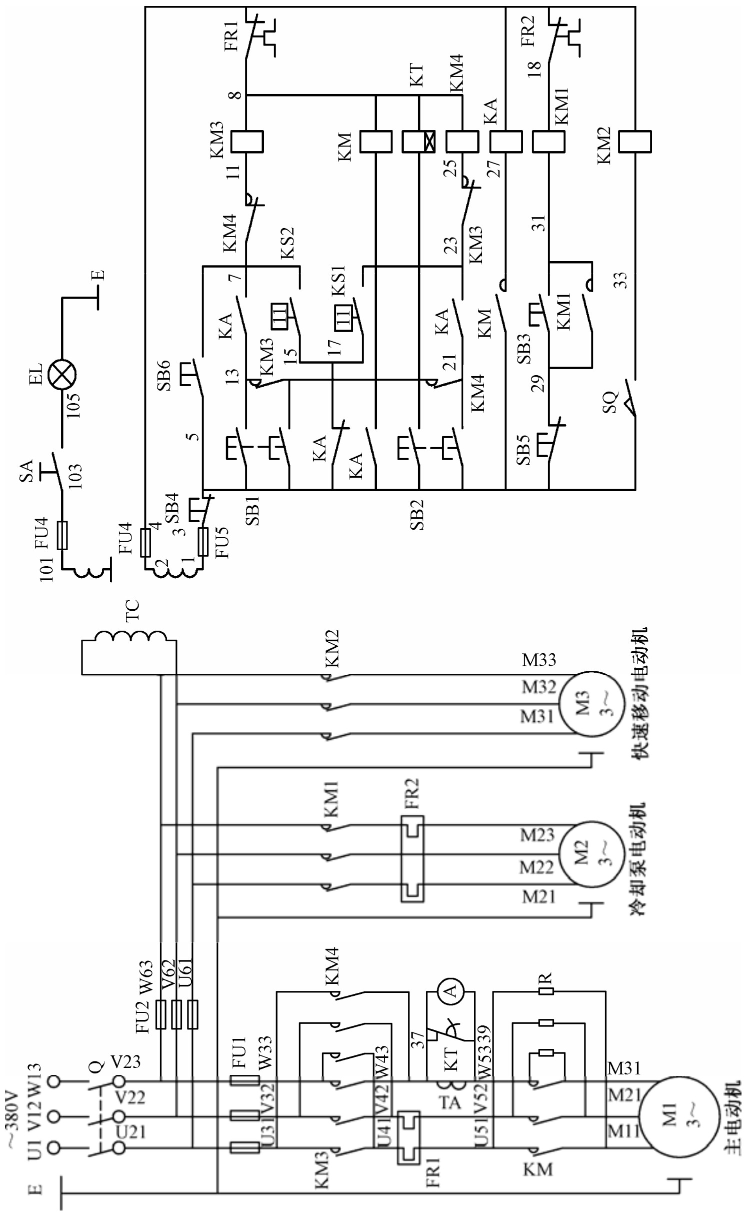


图 3-44　C650 型卧式车床电气原理图

⑥ 加工螺纹时，为了保证工件的旋转速度与刀具的进给速度之间严格的比例关系，刀架的进给运动也由主轴电动机拖动。

⑦ 为减轻工人的劳动强度和节省辅助工时，专设一台 2.2kW 的电动机拖动溜板箱快速运动。

⑧ 加工时为防止刀具和工件的温度过高，用一台电动机带动冷却泵供给切削液冷却。冷却泵电动机在主轴电动机开动后方可启动旋转。

⑨ 主电动机和冷却泵电动机有短路和过载保护。

⑩ 有安全照明电路。

图 3-44 中，M1 为主电动机，M2 为冷却泵电动机，M3 为快速移动电动机，其控制过

程如下。

1．主电路

组合开关 Q 将三相电源引入，FU1 为主电动机 M1 的短路保护熔断器，FR1 为 M1 的过载保护热继电器，R 为限流电阻，防止在点动时连续的启动电流造成电动机的过载。通过互感器 TA 接入电流表 A，以监视主电动机绕组的电流。熔断器 FU2 为电动机 M2、M3 的短路保护，接触器 KM1、KM2 为电动机 M2、M3 的启动接触器，FR2 为电动机 M2 的过载保护，快速电动机 M3 短时工作，所以不设过载保护。

监视主回路负载的电流表是通过电流互感器接入的。为防止电动机启动电流对电流表的冲击，线路中采用一个时间继电器 KT。启动时，KT 线圈通电，而 KT 的延时断开动断触点尚未动作，电流互感器二次侧电流只流经该触点构成闭合回路，电流表没有电流流过。启动后，KT 的延时断开动断触点打开，此时电流流经电流表，反映出负载电流的大小。

2．主电动机的点动调整

图 3-45 为 C650 车床点动环节的控制线路图。图中，KM3 为电动机 M1 的正转接触器，KM4 为 M1 的反转接触器，KA 为中间继电器。按下点动按钮 SB6，接触器 KM3 得电，其主触点闭合，电动机的定子绕组经限流电阻 R 和电源接通，电动机在较低速度下启动。松开按钮 SB6，KM3 断电，M1 停止转动。在点动过程中，中间继电器 KA 线圈不通电，KM3 线圈不会自锁。

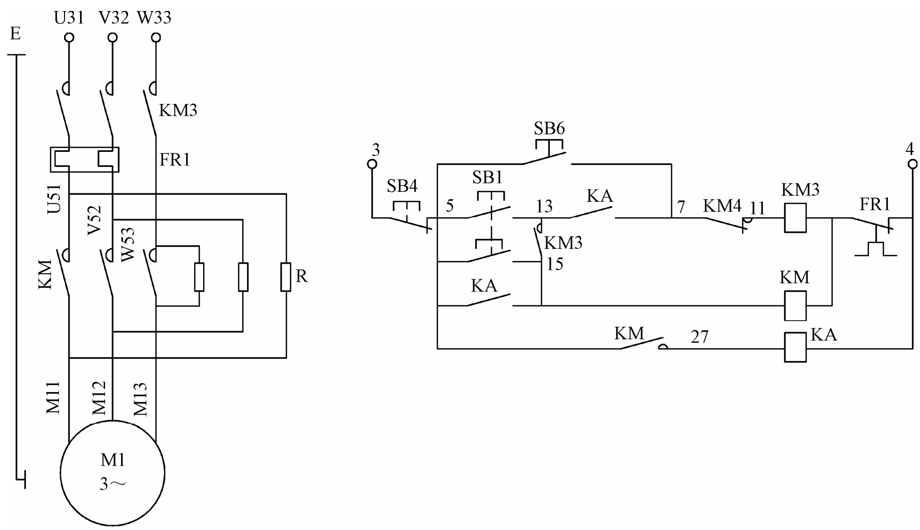


图 3-45　C650 车床点动控制线路

3．主电动机的正反转控制电路

图 3-46 为 C650 车床正反转控制线路，对于主电动机 M1 的正反转，包括 M1 的正向长动控制和 M1 的反向长动控制。

（1）M1 的正向长动

按下正向启动按钮 SB1，接触器 KM 首先得电动作，其主触点闭合，将限流电阻 R 短接，其辅助触点闭合，使中间继电器 KA 得电，KA 的辅助触点（13-7）闭合，使接触器 KM3 得电，KM3 的主触点闭合使 M1 直接正向启动，KM3 的动合触点（15-13）和 K 的动合触点（5-15）闭合，将 KM3 的线圈自锁。

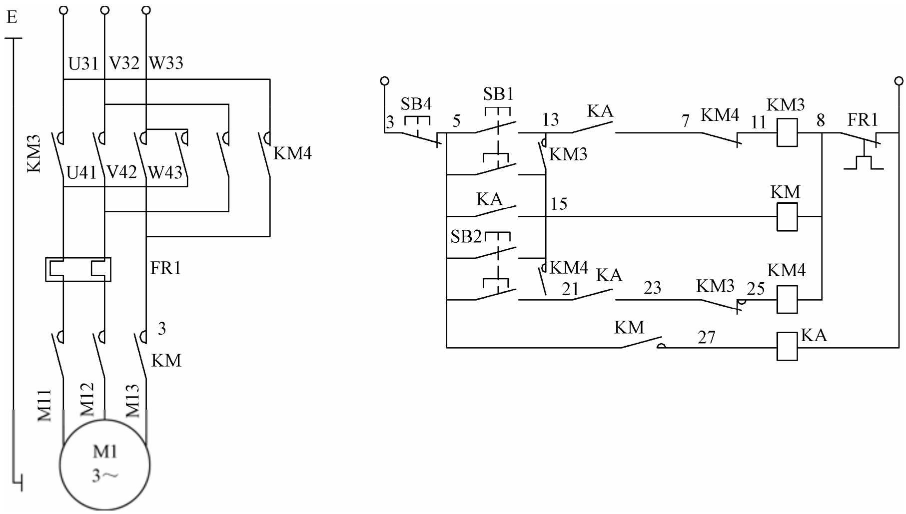


图 3-46　C650 车床正反转控制线路

（2）M1 的反向长动

按下反向启动按钮 SB2，接触器 KM 首先得电动作，其主触点闭合，将限流电阻 R 短接，其辅助触点闭合，使中间继电器 KA 得电，KA 的辅助触点（21-23）闭合，使接触器 KM4 得电，KM4 的主触点将三相电源反接，电动机在全压下反转启动，KM4 的动合触点（15-21）和 KA 的动合触点（5-15）闭合，将 KM4 的线圈自锁。KM4 的动断触点（7-11）和 KM3 的动断触点（23-25）分别串接在对方接触器线圈的回路中，起到了电动机正转与反转的电气互锁作用。

4．主电动机的反接制动控制

C650 卧式车床采用了反接制动方式。当电动机的转速接近零时，用速度继电器的触点给出信号，切断电动机的电源。图 3-47 是 C650 卧式车床正转、反转与反接制动的控制线路。

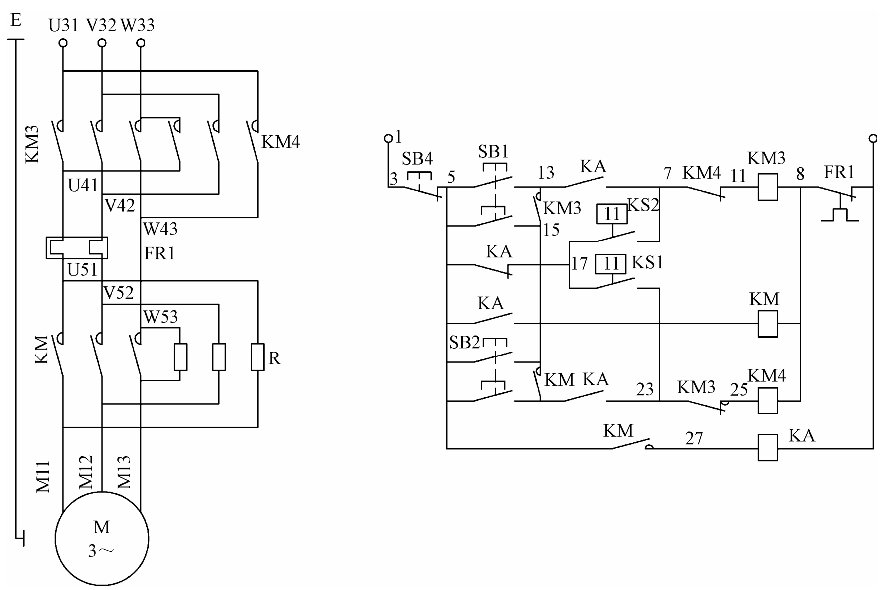


图 3-47　C650 车床正转、反转与反接制动控制线路

速度继电器与被控电动机是同轴连接的，当电动机正转时，速度继电器的正转常开触点 KS1（17-23）闭合；当电动机反转时，速度继电器的反转动合触点 KS2（17-7）闭合。当电动机正向旋转时，接触器 KM3 和 KM、继电器 KA 都处于得电动作状态，速度继电器的正转动合触点 KS1（17-23）也是闭合的，这样就为电动机正转时的反接制动做好了准备。

需要停车时，按下停止按钮 SB4，接触器 KM 失电，其主触点断开，电阻 R 串入主回路；同时 KM3 和 KA 也失电，KM3 断开电动机的电源，KA 失电后其动断触点复位闭合。这样就使反转接触 KM4 的线圈通过线路“1−3−5−17−23−25”得电，电动机的电源反接，电动机处于反接制动状态。当电动机的转速下降到速度继电器的复位转速时，速度继电器 KS 的正转动合触点 KS1（17-23）断开，切断了接触器 KM4 的通电回路，电动机脱离电源而停止。电动机反转时的制动与正转时相似，不再赘述。

5．刀架的快速移动和冷却泵控制

刀架的快速移动是通过转动刀架手柄压动行程开关 SQ 来实现的。当手柄压下 SQ 后，接触器 KM2 得电吸合，电动机 M3 转动，带动刀架快速移动。M2 为冷却泵电动机，其启动与停止是通过按钮 SB3 和 SB5 控制的。

3.7.2 X62W型万能升降台铣床的电气控制线路

铣床主要用于加工零件的平面、斜面、沟槽，若装上分度头，还可加工齿轮和螺旋面，若装上回转工作台，还可加工凸轮和弧形槽。

一般中小型铣床都采用三相异步电动机拖动。由于没有速度比例协调要求，多数铣床主轴的旋转运动（主运动）和进给运动分别由单独的电动机拖动。铣床的主轴要求能正向和反向旋转，以实现顺铣和逆铣；为了加工前对刀和提高生产率，要求主轴停止迅速，所以电气线路要具有制动措施；铣床的工作台有前后、左右和上下三个方向的运动，每个方向又有正反向两个运动，三个方向上还要实现空行程的快速移动。X62W 万能升降台铣床的电气原理图如图 3-48 所示。

1．X62W铣床的电气线路

该铣床由 3 台异步电动机拖动，M1 为主电动机，实现主轴的正、反转。M2 为进给电动机，通过操纵手柄和机械离合器相配合，实现前后、左右、上下三个方向的进给运动和进给方向的快速移动。为了扩大其加工能力，在工作台上可加圆形工作台，圆形工作台的回转运动是由进给电动机经传动机构驱动的。M3 为冷却泵电动机。3 台电动机都具有可靠的短路保护和过载保护。

根据加工工艺要求，该机床有如下特点。

① 为实现顺铣和逆铣，主轴电动机 M1 要求能正、反转。

② 为准确停车，主轴电动机采用电磁离合器制动。

③ 为防止刀具和机床的损坏，要求只有主轴旋转后才允许有进给运动和进给方向的快速移动。

④ 为降低加工件的表面粗糙度，要求只有进给停止后主轴才能停止或同时停止，该机床在电气上采用了主轴和进给同时停止的方式。但是由于主轴运动的惯性很大，实际上就保证了进给运动先停止、主轴运动后停止的要求。

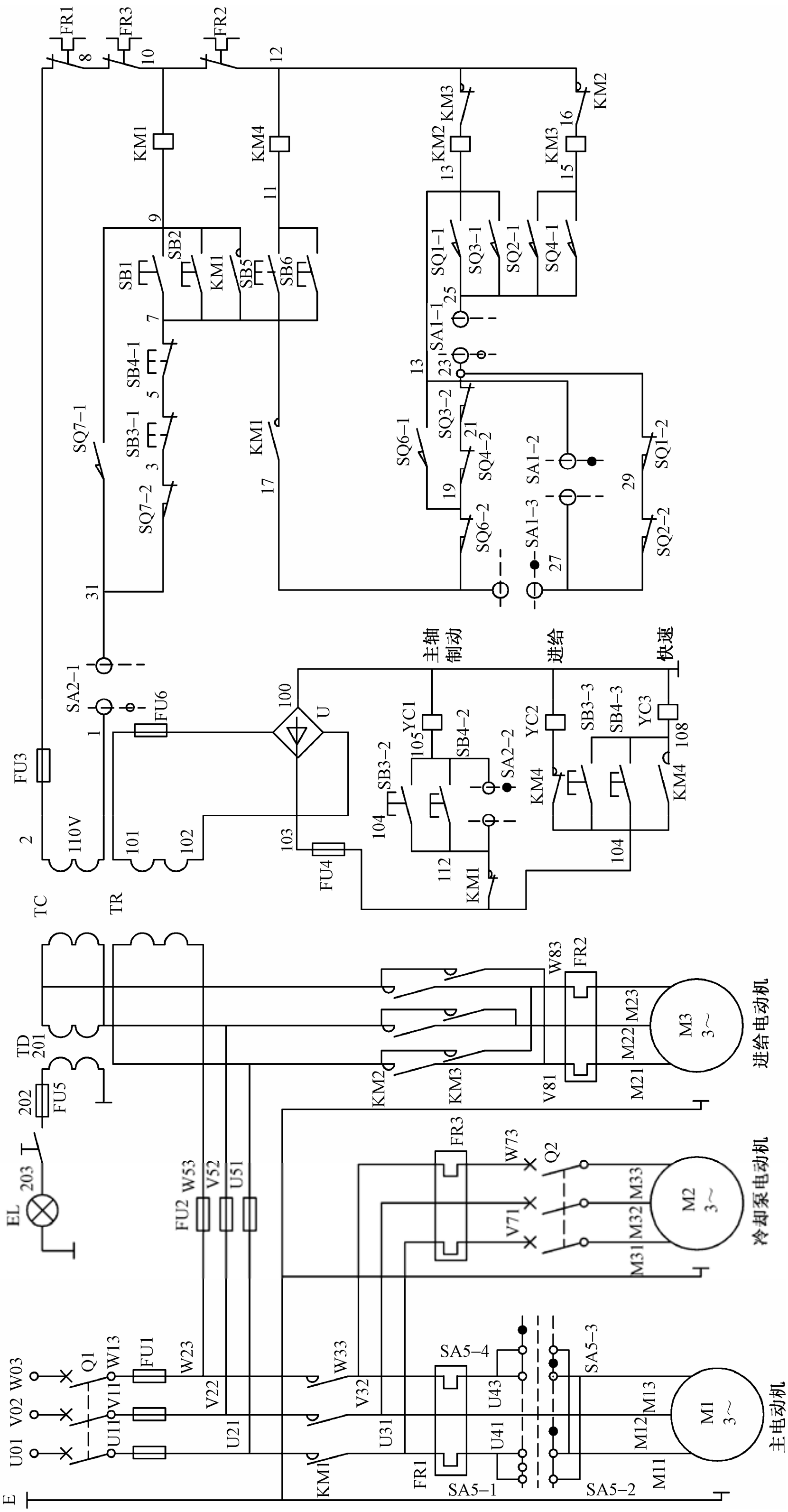


图 3-48　X62W 万能升降台铣床的电气原理图

⑤ 为实现前后、左右、上下三个方向的正、反向运动，要求进给电动机 M2 能正、反转。

⑥ 为保证安全，六个方向的进给运动在同一时刻只允许工作台向一个方向移动，该机床采用了机械操纵手柄和行程开关相配合的办法，实现六个方向进给运动的互锁。

⑦ 为了缩短调整运动的时间，提高生产率，工作台应有快速移动控制。该机床进给的快速移动是通过牵引电磁铁和机械挂挡来完成的。

⑧ 主轴运动和进给运动采用变速孔盘来进行速度选择，为保证变速时齿轮易于啮合，减小齿轮端面的冲击，两种运动都要求变速后作瞬时点动（冲动）。

⑨ 当主电动机或冷却泵电动机过载时，进给运动必须立即停止，以免损坏刀具和机床。

⑩ 为操作方便，在两处控制各部件的启停。

使用圆形工作台时，要求圆形工作台的旋转运动与工作台的上下、左右、前后三个方向的运动之间有连锁控制，即圆形工作台旋转时，工作台不能向任何方向移动。

SA2-1 到接通位置，主轴换向的转换开关 SA5 拨到所需要的转向。这时按下装在机床正面床鞍上的启动按钮 SB1 或装在机床侧面的启动按钮 SB2，接触器 KM1 得电吸合，其主触点闭合，接通主电动机 M1 的定子绕组，M1 启动。KM1 的辅助动合触点（7-9）闭合，将线圈自锁，辅助动合触点（17-7）闭合，为工作台进给线路提供电源。

（1）主电动机的制动

为了使主轴能准确停车和减少电能的损耗，主轴制动采用了电磁离合器的制动方式。电磁离合器的直流由整流变压器 TR 的二次侧经桥式整流获得。当主轴制动停车时，按下装在机床正面床鞍处的停车按钮 SB3 或装在机床侧面的 SB4，这时接触器 KM1 释放，M1 的定子绕组脱离电源，离合器 YC1 线圈通电，主轴制动停车。

（2）主轴变速时的瞬时点动（冲动）

在主轴旋转或停止时均可进行主轴变速，无须先按停止按钮。变速时，先将变速手柄拉出，然后转动蘑菇形变速手轮，选好合适的转速后，再将变速手柄复位。在手柄复位的过程中，压动行程开关 SQ7，接触器 KM1 线圈通过线路 1−31−9 瞬时接通，主电动机作瞬时点动，使齿轮良好啮合。手柄复位后 SQ7 恢复到常态，断开主轴瞬时点动线路。手柄复位时要迅速、连续，以免电动机的转速升得很高，在齿轮没有啮合好时可能使齿轮打牙。如果瞬时点动一次没有实现良好啮合，可以重复进行瞬时点动动作。

（3）主轴换刀制动

在主轴上刀或换刀时，主轴的意外转动都将造成人身事故。因此在上刀和换刀时，应使主轴处于制动状态。控制线路中采用在停止按钮动合触点 112-105 两端并联一个转换开关 SA2-2 触点的方法，在换刀时使其处于接通状态，电磁离合器 YC1 线圈通电，主轴处于制动状态。换刀结束后，将 SA2 拨到断开位置，这时 SA2-2 触点断开，线路 1-31 的 SA2-1 触点闭合，为主轴启动做好准备。

2．进给运动的控制

进给运动在主轴启动后方可进行，工作台的前后、左右、上下运动是通过操纵手柄和机械联动机构控制相应的行程开关使进给电动机 M2 正转或反转来实现的。行程开关 SQ1 和 SQ2 控制工作台向右和向左运动，SQ3 和 SQ4 控制工作台向前、向下和向后、向上运动。

（1）工作台的左右（纵向）运动

工作台的左右运动由纵向手柄操纵，当手柄扳向右侧时，手柄通过联动机构接通纵向进给离合器，同时压下了行程开关 SQ1，SQ1 的动合触点（13-25）闭合，使进给电动机

M2 的正转接触器 KM2 线圈通过 17−19−21−23−25−13 得电，M2 正转，带动工作台向右运动。当纵向进给手柄扳向左侧时，行程开关 SQ2 被压下，行程开关 SQ1 复位，进给电动机反转接触器 KM3 线圈通过 17−19−21−23−25−15 得电，M2 反转，带动工作台向左运动。SA1 为圆形工作台转换开关，这时的 SA1 要处于断开位置，其 SA1-1、SA1-3 接通，SA1-2 断开。

（2）工作台的上下（垂直）运动和前后（横向）运动

工作台的上下和前后运动由垂直和横向进给手柄操纵。该手柄扳向上或扳向下时，通过联动机构接通垂直进给离合器；当手柄扳向前或扳向后时，通过联动机构接通横向进给离合器。手柄在中间位置时，横向和垂直进给离合器均不接通。

当手柄扳到向下或向前位置时，手柄通过机械联动机构使 SQ3 被压下，SQ3 的动合触点（13-25）接通，动断触点（21-23）断开。这时进给电动机 M2 的正转接触器线圈通过 17−27−2−23−25−13 得电，M2 正转，带动工作台作向下或向前运动。

当手柄扳到向上或向后位置时，SQ4 被压下，SQ3 复位。SQ4 的常开触点（15-25）接通，进给电动机反转接触器线圈 KM3 通过 17−27−29−23−25−15 得电，M2 反转，带动工作台向上或右运动。

手柄扳到向下或向前压动行程开关 SQ3 与扳到向上或向后压动行程开关 SQ4，均是通过机械联动机构实现的。

（3）进给变速时的瞬时点动（冲动）

进给变速必须在进给操纵手柄放在零位时进行。和主轴变速一样，进给变速时，为使齿轮进入良好的啮合状态，也要做变速后的瞬时点动。在进给变速时，首先将进给变速的蘑菇形手柄拉出，选好合适的进给速度后，将手柄继续拉出，在拉出时行程开关 SQ6 被压动，SQ6 的常开触点（13-19）接通，常闭触点（17-19）断开，这时进给电动机正转接触器 KM2 线圈通过 17−27−29−23−21−19−13 得电，M2 瞬时正转。在手柄推回原位时 SQ6 复位，M2 停止。如果一次瞬时点动齿轮仍未进入啮合状态，可以重复进行一次，直到齿轮进入良好的啮合状态为止。

（4）进给方向的快速移动

六个方向的进给快速移动是通过相应的手柄和快速按钮实现的。当在某一方向有进给运动后，按下快速移动按钮 SB5 或 SB6，快速移动接触器 KM4 动作，其动合触点（104-108）闭合，接通快速离合器 YC3，工作台在原方向上快速移动，松开按钮快速移动停止。

（5）进给运动方向上的极限位置保护

工作台在进给方向上的运动必须具有可靠的极限位置保护，否则将造成设备或人身事故。X62W 卧式万能升降台铣床的极限位置保护采用的是机械和电气相配合的方式。由挡块确定各进给方向上的极限位置，当达到极限位置时，挡块使操纵手柄自动回到零位。电气上就使在相应进给方向上的行程开关复位，切断进给电动机的控制电路，进给运动停止，保证工作台在规定的范围内运动。

3．圆形工作台的控制

为了扩大机床的加工能力，可在该机床工作台上安装圆形工作台，这样就可以进行圆弧或凸轮的铣削加工。圆形工作台可以通过手动也可以自动控制，当需要用电气方法自动控制时，应先将圆形工作台开关 SA1 扳到接通位置，这时 SA1-1 的（23-25）触点和 SA1-3 的（17-27）触点均断开，SA1-2 的（23-27）触点接通。按下启动按钮 SB1 或 SB2，主轴电动机 M1 启动。接着进给电动机 M2 的正转接触器 KM2 线圈经 17−19−21−23−29−27−13 得电，M2 启动，带动圆形工作台作旋转运动。

圆形工作台的运动必须和六个方向的进给运动有可靠的互锁，否则会造成刀具或机床的损坏。为避免这种事故发生，从电气上保证了只有纵向、横向及垂直手柄放在零位时才可以进行圆形工作台的旋转运动。如果某一手柄不在零位，行程开关 SQ1～SQ4 就有一个被压下，它所对应的动断触点就会断开，切断 KM2 线圈的通电回路。所以在圆形工作台工作时，如果扳动任何一个进给手柄，KM2 线圈将断电，M2 电动机自动停止。

3.8　Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路

钻床可以进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔及攻丝，因此要求钻床的主运动和进给运动有较宽的调速范围。钻床的调速一般是通过三相异步电动机和变速箱来实现的，也有的是用多速异步电动机拖动以简化变速机构。

Z3040 型摇臂钻床适合于在大、中型零件上进行孔加工，其运动形式有主轴的旋转运动、进给运动、摇臂的升降运动、立柱的夹紧和放松、摇臂的回转和主轴箱的左右移动。主轴的旋转运动和进给运动由一台异步电动机拖动，摇臂的升降由一台异步电动机拖动，摇臂、立柱和主轴箱的夹紧/放松由一台液压泵电动机拖动，摇臂的回转和主轴箱的左右移动通常采用手动。此外，还有一台冷却泵电动机对刀具和工件进行冷却。

加工螺纹时，主轴需要正反转，该机床采用机械变换方法来实现，故主电动机只有一个旋转方向。此外，为保证安全生产，其主轴旋转和摇臂升降不允许同时进行。

Z3040 型摇臂钻床的电气原理图如图 3-49 所示。

1．主电路

Z3040 型摇臂钻床共有四台电动机，除冷却泵电动机采用转换开关 SA1 直接启动外，其余三台异步电动机均采用接触器直接启动。

主电动机 M1 的接通和断开由接触器 KM1 控制，主轴的正反转由机械柄操作。M1 装于主轴箱顶部，拖动主轴及进给传动系统转动。热继电器 FR1 作为电动机 M1 的过载及断相保护，短路保护由继电器 Q 中的电磁脱扣装置完成。

M2 是摇臂升降电动机，装于立柱顶端，用接触器 KM2 和 KM3 控制其正反转。由于电动机 M2 是间断性工作，所以不设过载保护。

M3 是液压泵电动机，用接触器 KM4 和 KM5 控制其正反转，由热继电器 FR2 作为过载及断相保护。该电动机的主要作用是拖动油泵供给液压装置压力油，以实现摇臂、立柱及主轴的松开和夹紧。

摇臂升降电动机 M2 和液压油泵电动机 M3 由熔断器 FU2 作为短路保护。

M4 是冷却泵电动机，由断路器 Q 直接控制，并实现短路、过载及断相保护。

电源配电盘在立柱前下部，冷却泵电动机 M4 装于靠近立柱的底座上，升降电动机 M2 装于立柱顶端，其余电气设备置于主轴箱或摇臂上。由于 Z3040 钻床内、外立柱间未装设汇流环，故在使用时，请勿沿一个方向连续转动摇臂，以免发生事故。

主电路电源电压为交流 380V，断路器 Q 作为电源引入开关。

为防止漏电，外壳均采用接地保护。

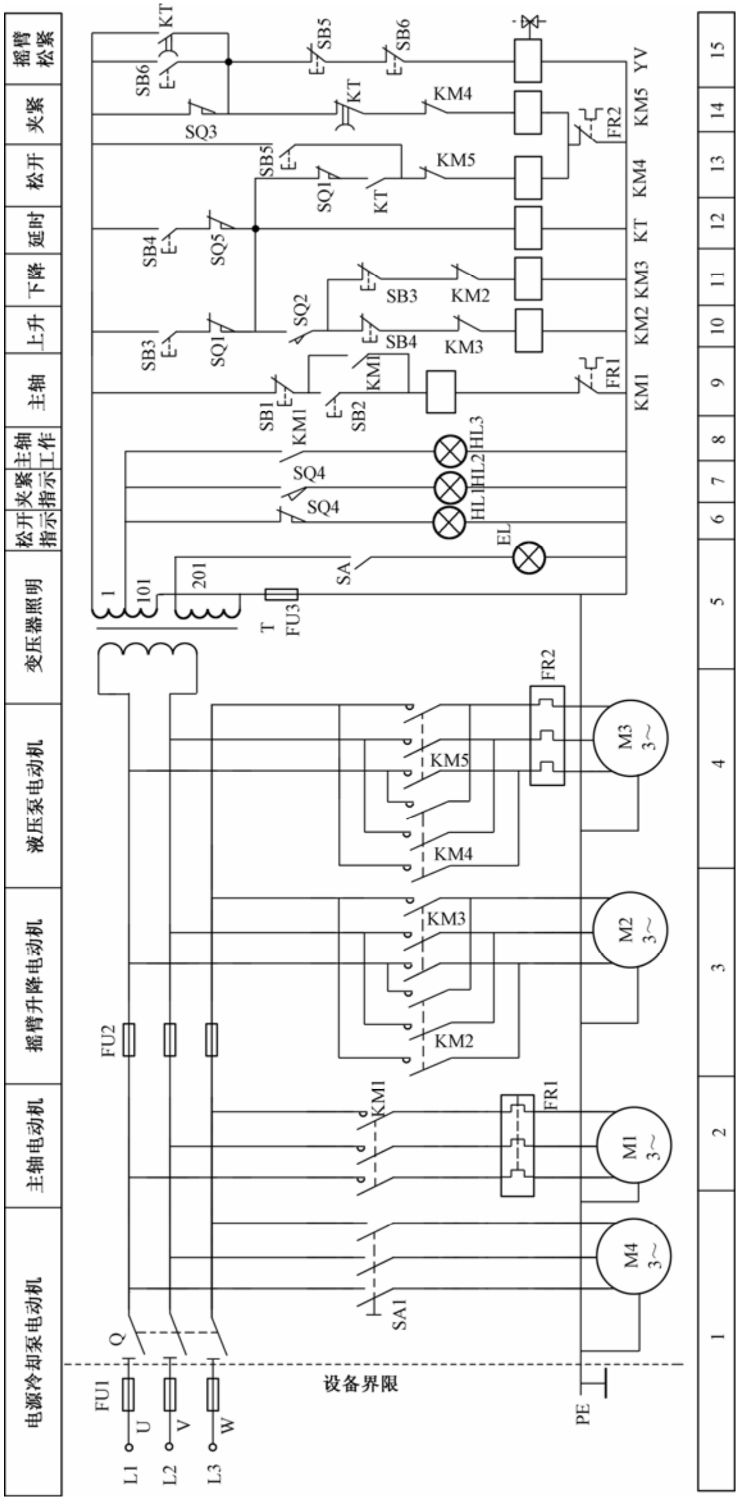


图 3-49　Z3040 型摇臂钻床的电气原理图

2．控制电路

控制电路的电源由控制变压器 TC 二次绕组输出 110V 供电，熔断器 FU3 作为短路保护。

（1）主电动机的旋转控制

主轴电动机单方向运转，由按钮 SB1、SB2 和接触器 KM1 控制其启动和停止。按下 SB2（2-3），KM1（2-3）吸合并自锁，使主轴电动机 M1 启动运转，同时指示灯 HL3 亮。按下停止按钮 SB1，接触器 KM1 释放，使主轴电动机 M1 停止旋转，同时指示灯 HL3 熄灭。

（2）摇臂的升降控制

按下摇臂上升启动按钮 SB3，则时间继电器 KT 通电吸合，其瞬时闭合的常开触头闭合，接触器 KM4 线圈通电，液压泵电动机 M3 启动，正向运转，供给压力油。压力油经分配阀体进入摇臂的“松开油腔”，推动活塞移动，活塞推动菱形块，使摇臂松开。同时活塞杆通过弹簧片压下位置开关 SQ4，使其常闭触点断开，常开触头闭合。前者切断了接触器 KM4 的线圈电路，KM4 主触头断开，液压泵电动机 M3 停止工作；后者使交流接触器 KM2（或 KM3）的线圈通电，KM2（或 KM3）的主触头接通 M2 的电源，摇臂升降电动机 M2 启动旋转，带动摇臂上升（或下降）。如果此时摇臂未松开，则位置开关 SQ4 的常开触头不能闭合，接触器 KM2（或 KM3）的线圈无电，摇臂就不能上升（或下降）。

当摇臂上升或下降到所需要的位置时，松开按钮 SB3（或 SB4），则接触器 KM2（或 KM3）和时间继电器 KT 同时断电释放，M2 断电停止，摇臂停止上升（或下降）。

由于时间继电器 KT 同时断电释放，经 1～3s 断电延时后，其延时闭合的常闭触头（14 区）闭合，使接触器 KM5 吸合，液压泵电动机 M3 反向旋转，随着泵内压力油经分配阀进入摇臂的“夹紧油腔”摇臂开始夹紧。在摇臂夹紧后，活塞杆推动弹簧片压下位置开关 SQ3，其常闭触头（14 区）断开，KM5 断电释放，M3 最终停止工作，完成摇臂松开—上升（或下降）—夹紧的整套动作。

组合开关 SQ1a（10 区）和 SQ1b（12 区）作为摇臂升降的超程限位保护，当摇臂上升到极限位置时，压下 SQ1a 使其断开，接触器 KM2 断电释放，M2 停止运行，摇臂停止上升；当摇臂下降到极限位置时，压下 SQ1b 使其断开，接触器 KM3 断电释放，M2 停止运行，摇臂停止下降。

摇臂的自动夹紧由位置开关 SQ3 控制。如果液压夹紧系统出现故障，不能自动夹紧摇臂，或者由于 SQ3 调整不当，在摇臂夹紧后不能使 SQ3 的常闭触头断开，都会使液压泵电动机 M3 因长期过载运行而损坏。为此电路中设有热继电器 FR2，其整定值应根据电动机 M3 的额定电流进行调整。

摇臂升降电动机 M2 的正反转接触器 KM2 和 KM3 不允许同时得电动作，以防止电源相间短路。为避免因操作失误、主触头熔焊等原因而造成短路事故，在摇臂上升和下降的控制电路中采用了接触器连锁和复合按钮连锁，以确保电路安全工作。

（3）主轴箱和立柱的松开与夹紧控制

按主轴箱松开按钮 SB5，接触器 KM4 通电，液压泵电动机 M3 正转。电磁铁 YV 不通电，压力油进入主轴箱松开油缸和立柱松开油缸，推动松紧机构使主轴箱和立柱松开。行程开关 SQ4 不受压，其常闭触头闭合，指示灯 HL1 亮，表示主轴箱和立柱已经松开。主轴箱在摇臂的水平导轨上由手轮操纵来回移动，通过推动摇臂可使其与外立柱一起绕内立柱旋转。

按主轴箱夹紧按钮 SB6，接触器 KM5 通电，液压泵电动机 M3 反转。电磁铁 YV 仍不

通电，压力油进入主轴箱和摇臂夹紧油缸，推动松紧机构使主轴箱和摇臂夹紧。行程开关SQ4 受压，其常闭触头断开，指示灯 HL1 灭，其常开触头闭合，指示灯 HL2 亮，表示主轴箱和立柱已经夹紧。

3.9　T68 型卧式镗床的电气控制线路

T68 型卧式镗床主要用于钻孔、镗孔、铰孔及加工端平面等，使用一些附件后，还可以车削螺纹。它主要由床身、前立柱、镗头架、工作台、后立柱和尾座等部分组成。床身是一个整体铸件，一端固定有前立柱，前立柱的垂直导轨上装有镗头架，镗头架可沿着导轨垂直移动。镗头架里集中地装有主轴部分、变速箱、进给箱与操纵机构等部件。切削刀具固定在镗轴前端的锥形孔里，或装在花盘的刀具溜板上，在工作过程中，镗轴一面旋转，一面沿轴向作进给运动。花盘只能旋转，装在上面的刀具溜板可作垂直于主轴轴线方向的径向进给运动。镗轴和花盘主轴通过单独的传动链传动，因此可以独立转动。在大部分工作情况下使用镗轴加工，只有在用车刀切削端面时才使用花盘。

后立柱的尾座用来支承装夹在镗轴上的镗杆末端，它与镗头架同时升降，两者的轴线始终在一条直线上。后立柱可沿床身导轨在镗轴的轴线方向调整位置。

安装工件的工作台安放在床身中部的导轨上，它由上溜板、下溜板与工作台组成，下溜板可沿床身导轨作纵向移动，上溜板可沿下溜板上的导轨作横向移动，工作台相对于上溜板可回转。配合镗头架的垂直移动，工作台的横向、纵向移动和回转，就可加工工件上一系列与轴心线相互平行或垂直的孔。

由以上分析可知，T68 卧式镗床的运动形式有下面几种。

- 主运动：镗轴的旋转运动和花盘的旋转运动。
- 进给运动：镗轴的轴向进给、花盘上刀具的径向进给、镗头架的垂直进给、工作台的横向进给和纵向进给。
- 辅助运动：工作台的回转、后立柱的轴向移动、尾架的垂直移动及各部分的快速移动。

1．电气控制线路的特点

图 3-50 为 T68 型卧式镗床的电气原理图，其主要特点如下。

① 主轴有较大的调速范围，采用△/YY 双速笼型异步电动机作为主拖动电动机，并采用机电联合调速。低速时将定子绕组接成三角形，高速时接成双星形。主电动机在低速时可直接启动，高速时先接通低速再经延时接通高速。

② 机械变速时，为使滑移齿轮顺利进入正常啮合位置，设有低速或断续变速冲动。

③ 主电动机可实现正转、反转及正反转时的点动控制。为限制启动和制动电流，在点动或制动时，定子绕组串入限流电阻。

④ 为使主轴迅速、准确停车，主轴电动机采用反接制动。

⑤ 为缩短辅助时间，还应有快速移动，由一台快速移动电动机来实现快速运动。

⑥ 各方向的进给（主轴轴向、花盘径向、主轴垂直方向、工作台横向、工作台纵向）都有连锁。

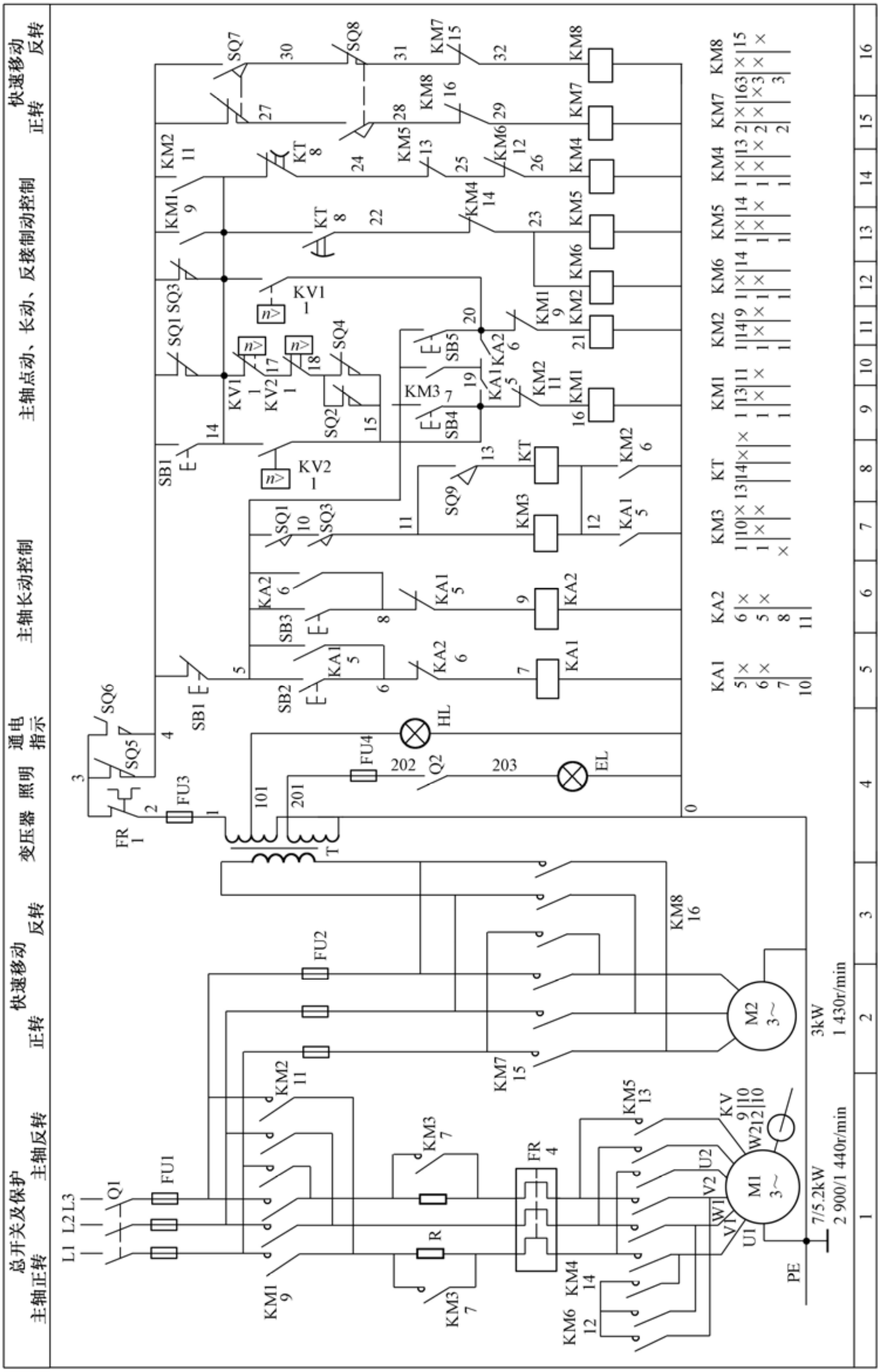


图 3-50　T68 型卧式镗床的电气原理图

2．主电路

图 3-50 中，M1 为主轴与进给电动机，它是一台 4/2 极的双速电动机，绕组接法为△/YY；M2 为快速移动电动机。

电动机 M1 由 6 支接触器控制，其中 KM1、KM2 为正、反转接触器，KM3 为制动电阻短接接触器，KM4 为低速运转接触器，KM5、KM6 为高速运转接触器。主轴电动机正反转停车时，均由速度继电器 KV 控制实现反接制动。另外还设有短路保护和一般长期过载保护。M1 可以正、反向低速点动，正、反向低速或高速长动，长动停车时采用反接制动。为限制点动和制动电流，在低速点动和长动停车反接制动时，M1 的定子绕组串入电阻 R，M1 低速全压启动；要 M1 高速运转时，为限制启动电流，先经低速全压启动，经延时后由全压低速转为全压高速。为保证主轴、进给机械变速时齿轮进入良好啮合，在 M1 运转变速时，先反接制动，然后变速，变速后对 M1 进行间歇启动、反接制动，使其缓慢转动。

电动机 M2 由接触器 KM7、KM8 实现正反转控制，设有短路保护。因快速移动为点动控制，所以 M2 为短时运行，无须进行一般长期过载保护。

3．控制电路

（1）M1 的启动控制

M1 正向点动：按下 SB4，KM1 的线圈通过 1−2−3−4−5−15−16−0 得电，其常闭触点先打开，起电连锁作用，其常开辅助触头后闭合，KM4 通过 2−3−4−14−24−25−26−0 得电，KM4 的常闭辅助触头先打开，起电连锁作用；KM1、KM4 的常开主触头闭合，M1 的定子绕组△连接串入 R 正向低速启动。松开 SB4，KM1、KM4 的线圈相继断电，M1 停转。

M1 反向点动：按下 SB5，KM2、KM4 得电，M1 的定子绕组△连接串入 R 反向低速启动。松开 SB5，KM2、KM4 相继失电，M1 停转。

（2）M1 的正、反向低速长动控制

M1 正向低速长动：按下 SB2，KA1 通过 2−3−4−5−6−7−0 得电，其常闭触点先打开，起电连锁作用，其常开触头后闭合，其中触点（5-6）使 KA1 自锁，触点（12-0）使 KM3 通过 2−3−4−5−10−11−12−0 得电，KM3 的常开主触头将 R 短接；触头（15-19）与 KM3 的辅助常开触头（5-19）使 KM1 通过 2−3−4−5−19−15−16−0 得电，其常闭辅助触头先打开，起电连锁作用，其常开辅助触头（4-14）闭合，使 KM4 得电，KM4 的常开主触头闭合，M1 的定子绕组△连接，全压正向低速启动运转。

M1 反向低速长动：按下 SB3，KA2 得电自保，KM3 得电将 R 短接，KM2 得电，KM4 得电，M1 的定子绕组△连接，全压反向低速启动运转。

（3）M1 的正、反向高速长动控制

如果要 M1 高速转动，可压下 SQ9 使其闭合（在 M1 低速时，SQ9 不压下）。

如果要 M1 正向高速长动，可按下 SB2，KA1 得电自保，KT、KM3 同时得电。KM3 得电后将 R 短接，同时使 KM1 得电，KM4 得电，M1 定子绕组△连接，全压低速正向启动。

当 M1 的正向转速接近同步转速时，到达 KT 的整定时间，KT 的通电延时打开常闭触头打开，KM4 失电，KM4 的常开主触头先复位，M1 脱离电源；KT 的通电延时闭合常开触头闭合，在 KM4 的常闭辅助触头复位时，KM5、KM6 通过 2−3−4−14−22−23−0 得电，其常闭辅助触头先打开，起电连锁作用，常开主触头后闭合，M1 的定子绕组YY连接，由正向低速转为高速旋转。M1 的反向高速长动过程与此类似。

（4）M1 的反接制动控制

M1 低速正转停车过程：M1 低速正转时，KA1、KM3、KM1、KM4 得电，KV1 切换。M1 停车时，按下 SB1，其常闭触头先打开，KA1、KM3、KM1 失电。KM3 失电，R 串入 M1 的定子电源电路；KM1 失电，M1 切断正序电源；KM4 失电，使 M1 的定子绕组不再是△连接。当 SB1 的常开触头闭合时，KM2 通过 2−3−4−14−20−21−0 得电自锁，KM4 又得电，M1 的定子绕组△连接，串入 R 进行反接制动。当 M1 的正向转速降低到速度继电器的复位转速时，KV1 复位，KM2、KM4 相继失电，M1 正向反接制动结束。M1 低速反转停车过程与正转时类似。

M1 高速正转停车过程：M1 高速正转时，KA1、KM3、KT、KM1、KM5、KM6 得电，KV1 切换。M1 停车时，按下 SB1，KA1、KM3、KM1、KT 失电。KM3 失电后，R 串入 M1 的定子电源电路；KM1 失电，使 KM5、KM6 失电，且使 KM2 得电，KM4 得电，M1 的定子绕组△连接，串入 R 进行反接制动。当 M1 的正向转速降低到速度继电器的复位转速时，KV1 复位，KM2、KM4 相继失电，M1 正向反接制动结束。M1 高速反转停车过程与正转时类似。

（5）主轴或进给机械变速时的“冲动”（瞬时点动）控制

因为 KV1、KV2、SQ2、SQ4 的常闭触头只接在 KM1 的线圈电路中，所以只能在 M1 正转时进行主轴或进给机械变速时的“冲动”控制。

主轴运行中的机械变速“冲动”控制：主轴机械变速时，将主轴变速孔盘上的手柄拉出，此时与手柄有联动关系的 SQ1、SQ2 复位。M1 低速或高速正转时，KV1 切换。SQ1 的常开触点复位，在高速时 M1 使 KT 失电，在低速时 M1 使 KM3 失电。R 串入 M1 的定子电源电路，又使 KM1 失电，KM1 的常开触头先复位，如果 M1 按原低速运行时，则 KM4 失电；如果 M1 按原高速运行时，则 KM5、KM6 失电。SQ1、KM1 的常闭触头复位时，KM2 通过 2−3−4−14−20−21−0 得电，KM4 得电，M1 定子绕组△连接，串入 R 进行反接制动，M1 的正向转速下降。

当 M1 基本停转时，转动主轴变速孔盘，转至所需转速位置时将变速手柄推向原位。若此时因齿轮啮合不上变速手柄推不上时，是因为这时 KV1 的常开触头已复位，KM2 失电，M1 切断负序电源。在 KV1、KM2 常闭触头复位前提下，KM1 通过 2−3−4−14−17−18−15−16−0 得电，KM4 得电，M1 定子△连接，串入 R 低速正向启动。当 M1 的正向转速达到速度继电器的动作转速时，KV1 的常闭触头先打开，KM1 失电，KM4 失电。KV1 的常开触头闭合时，由于 KM1 的常闭辅助触头复位，KM2、KM4 相继得电，重复以前的过程。

M1 这样间歇启动与制动，使 M1 缓慢地旋转，利于齿轮啮合。一旦齿轮啮合好，主轴变速手柄推回原位，SQ1、SQ2 的常闭触头先打开，主轴变速“冲动”结束；SQ1 的常开触头后闭合，KM3、KM1 相继得电。M1 按原低速时，KM4 得电，M1 又低速正转；M1 按原高速时，KT 得电，由于 KM3、KM1 得电，所以 KM5、KM6 得电，M1 又高速正转。

进给运行中的机械变速“冲动”控制：进给变速时，将进给变速孔盘上的手柄拉出，SQ3、SQ4 复位。以后的工作过程与主轴运行中的机械变速“冲动”类似。

（6）主轴箱、工作台或主轴的快速移动

将快速手柄扳到正向快速位置时，SQ8 切换，KM7 得电，M2 正转；将快速手柄扳到反向快速位置时，SQ7 切换，KM8 得电，M2 反转。

（7）主轴进刀与工作台互锁

当工作台或镗头架自动进给时（与其手柄联动的行程开关为常闭的 SQ5），如果主轴或

花盘刀架自动进给也进行（与其手柄联动的行程开关为常闭的 SQ6），则 SQ5、SQ6 均打开，切断控制电路，M1 停止运转，M2 也不能启动。

3.10　M7120 型平面磨床的电气控制线路

磨床是用砂轮的周边或端面进行加工的精密机床。磨床的种类很多，按其工作性质可分为外圆磨床、内圆磨床、平面磨床、工具磨床及一些专用磨床等，其中以平面磨床的应用最为普遍，本节以 M7120 型卧轴矩台平面磨床为例进行分析。

3.10.1　平面磨床的结构与控制特点

1．平面磨床的结构

图 3-51 所示为卧轴矩台平面磨床结构示意图，主要由床身、工作台、电磁吸盘、砂轮箱（又称磨头）、滑座、立柱等部分组成。

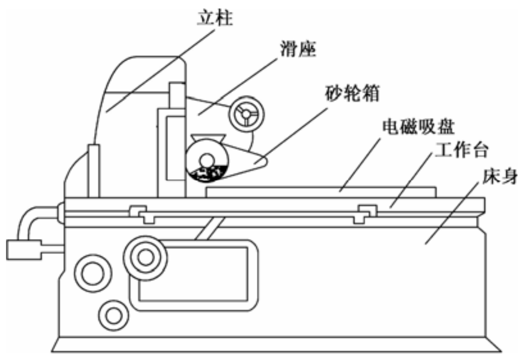


图 3-51　卧轴矩台平面磨床结构示意图

平面磨床的主运动是砂轮的旋转运动，进给运动为工作台和砂轮的往复运动，辅助运动为砂轮架的快速移动和工作台的移动。工作台在床身的水平导轨上作往复（纵向）直线运动，采用液压传动，换向则通过工作台上的撞块碰撞床身上的液压换向开关来实现。立柱可在床身的横向导轨上作横向进给运动，可由液压传动，也可用手轮操作。砂轮箱可在立柱导轨上作垂直运动，以实现砂轮的垂直进给运动。

2．平面磨床的控制特点

M7120 型平面磨床的电气控制原理图如图 3-52 所示，其控制特点如下。

① 主电路用了 4 台电动机，其中 M1 是液压泵电动机，M2 是砂轮电动机，M3 是冷却泵电动机，M4 是砂轮升降电动机。

② 电源由总开关 QS1 引入，熔断器 FU1 作整个电气线路的短路保护。热继电器 FR1、FR2、FR3 分别作电动机 M1、M2、M3 的过载保护。冷却泵电动机通过插头插座 XS2 接通电源。

③ 液压泵电动机 M1、砂轮电动机 M2 和冷却泵电动机 M3 都只要求单向旋转，分别由接触器 KM1、KM2 控制。砂轮升降电动机 M4 由接触器 KM3、KM4 控制其正反转，因是短时间工作，不设过载保护。

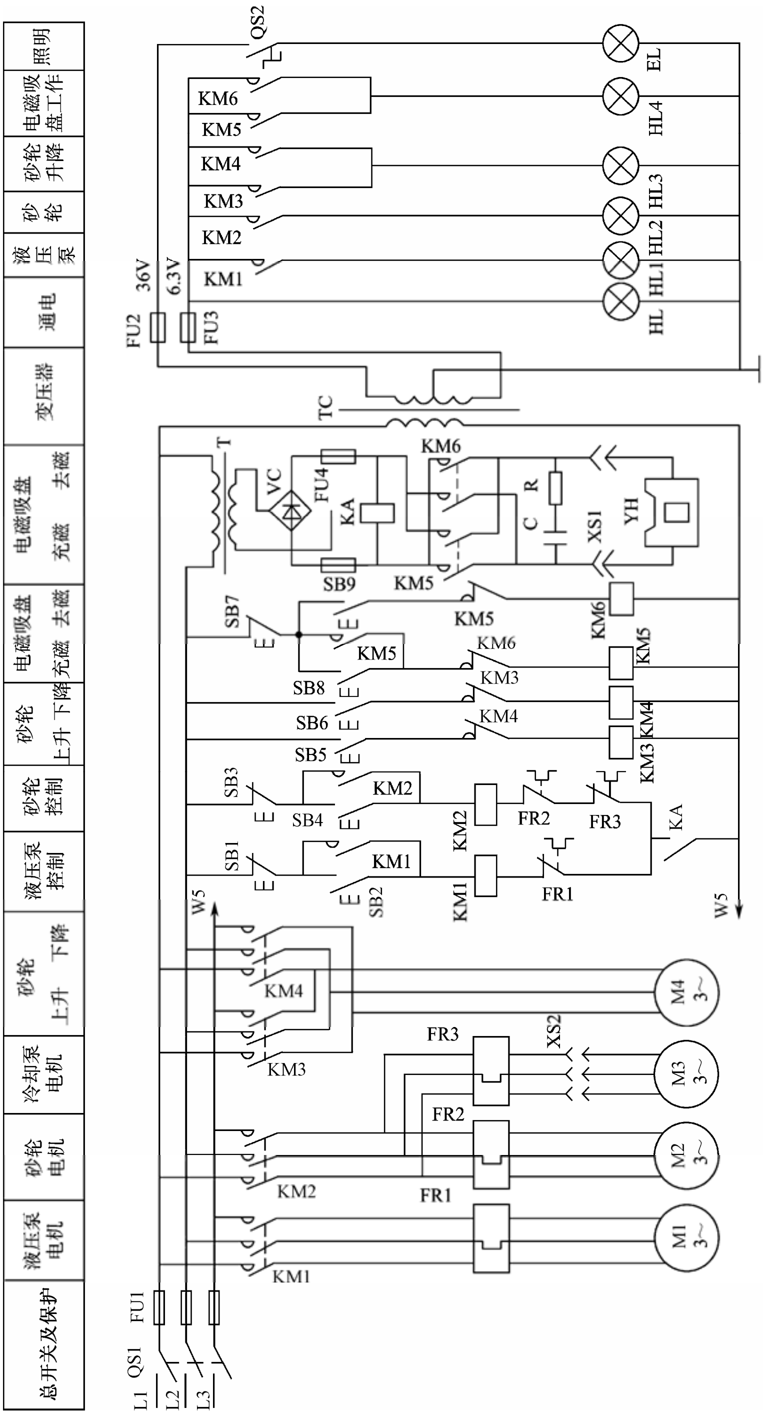


图 3-52　M7120 型平面磨床的电气控制原理图

④ 采用电磁吸盘固定加工工件。为防止电磁吸盘吸力不足或吸力消失时，工件被砂轮打飞而发生人身和设备事故，使用欠电压继电器 KA 作电磁吸盘欠压保护。

3.10.2　控制电路工作原理

控制电路采用交流 380V 供电，在欠电压继电器 KA 通电后，其常开触点闭合，为液压泵电动机 M1、砂轮电动机 M2 及冷却泵电动机 M3 的启动做好准备。

1. 液压泵电动机M1 的控制

液压泵电动机 M1 由接触器 KM1 控制，SB2 是启动按钮，SB1 是停止按钮，热继电器 FR1 作过载保护。

按下 SB2→KM1 线圈得电并自锁→主触点闭合→M1 启动运行；

按下 SB1→KM1 断电释放→M1 断电停止。

2. 砂轮电动机M2 和冷却泵电动机M3 的控制

砂轮电动机 M2 及冷却泵电动机 M3 由接触器 KM2 控制，SB4 为启动按钮，SB3 为停止按钮，热继电器 FR2、FR3 分别作 M2、M3 的过载保护。

按下 SB4→KM2 得电并自锁→主触点闭合→M2、M3 同时启动运行；

按下 SB3→KM2 断电释放→M2、M3 断电停止。

3. 砂轮升降电动机M4 的控制

砂轮升降电动机 M4 分别由接触器 KM3、KM4 控制其正、反转，SB5 为上升（正转）按钮，SB6 为下降（反转）按钮。

按下 SB5→KM3 得电→主触点闭合→M4 正转，砂轮上升；

松开 SB5→KM3 断电→M4 断电，砂轮停止上升。

按下 SB6→KM4 得电→主触点闭合→M4 反转，砂轮下降；

松开 SB6→KM4 断电→M4 断电，砂轮停止下降。

可见，砂轮升降属于点动控制。为防止操作失误，KM3、KM4 同时通电造成电源相间短路，在 KM3 控制电路中串联了 KM4 的辅助常闭触点，在 KM4 控制电路中串联了 KM3 的辅助常闭触点，以实现互锁。

4. 电磁吸盘的控制

电磁吸盘是利用线圈通电时产生磁场的特性吸牢铁磁衬料工件的一种工具。相对机械夹紧装置，它具有夹紧迅速、工作效率高、在磨削中工件发热时能自由伸缩等优点。

电磁吸盘控制电路由整流装置、控制装置、保护装置等部分组成。

（1）整流装置

由整流变压器 T、桥式整流器 VC 组成整流电路，输出 110V 直流电压供给吸盘线圈，避免交流供电时工件振动及铁芯发热。

（2）控制装置

电磁吸盘的充磁由接触器 KM5 控制，SB8 为充磁按钮，SB7 为充磁停止按钮。

按下SB8→KM5得电并自锁→KM5主触点闭合→110V 直流对吸盘线圈 YH 充磁，将工件吸牢
　　　　　　　　　　　　　→KM5辅助常闭触点打开，实现与 KM6 的互锁

按下SB7→KM5线圈断电释放→停止充磁

由于吸盘和工件在停止充磁后仍有剩磁，故还需对吸盘和工件进行去磁。去磁操作由 KM6 控制，给吸盘线圈通以反方向电流，SB9 为去磁按钮。为防止反向磁化，采用点动

控制。

按下 SB9 ⟶ KM6 线圈得电 ⟶ 主触点闭合 ⟶ 110V 直流给 YH 提供一个反向去磁电流
　　　　　　　　　　　　⟶ 辅助常闭触点打开 ⟶ 实现与 KM5 的互锁

松开 SB9 ⟶ KM6 断电释放 ⟶ 去磁结束

（3）保护装置

将欠电压继电器 KA 与吸盘线圈并联，防止电源电压过低时吸盘吸力不足，导致加工过程中工件飞离吸盘。当电源电压过低时，KA 串联在 KM1、KM2 线圈控制电路中的动合触点断开，使 KM1、KM2 线圈断电，液压泵电动机 M1、砂轮电动机 M2 停止工作，避免事故发生。

此外，在吸盘线圈两端并联的电阻 R 和电容 C，形成过电压吸收回路，可以消除线圈两端产生的感应电压的影响。

5．照明、指示电路

从变压器 TC 副边获得 36V、6.3V 两组输出电压，其中 36V 供给照明灯 EL 作安全照明；6.3V 供给电源指示灯 HL、液压泵运行指示灯 HL1、砂轮电动机运行指示灯 HL2、砂轮升降电动机运行指示灯 HL3、电磁吸盘工作指示灯 HL4。

3.10.3　电磁吸盘充、退磁电路的改进

有的电磁吸盘采用手动操作退磁，不但操作不便，退磁效果也不够理想。有些工件在加工完毕后在退磁器上退磁，以完全消除剩磁，增加了工序，降低了生产效率。下面介绍一个能够克服上述缺点的电磁吸盘自动充、退磁电路。

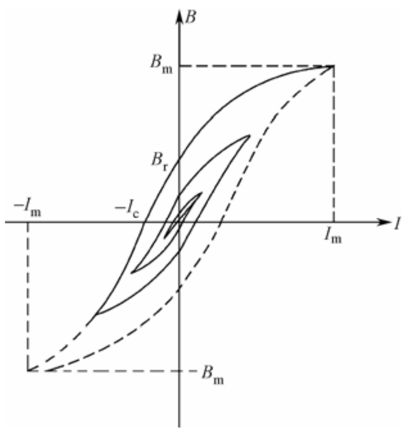


图 3-53　退磁过程中的磁化曲线

1．自动退磁原理

充磁时，电磁吸盘由初始零状态（I=0，B=0）开始充磁，随着激磁电流的增大，吸盘磁感应强度沿起始磁化曲线不断增大，激磁电流增至 I_m 时，磁感应强度增至 B_m。退磁时，激磁电流减小至 0，磁感应强度并不会减为 0，而是有剩余磁感应强度 B_r，需通以反向激磁电流，磁感应强度才减小至 0。若反向激磁电流继续增大，则吸盘被反向磁化，激磁电流达到 $-I_m$，磁感应强度达到 $-B_m$。若激磁电流在 $-I_m$～I_m 之间反复变化，则形成一个磁滞回线，如图 3-53 所示。从图中可见，随着激磁电流正负交替变化，且最大值不断衰减，磁滞回线的面积逐渐缩小。当激磁电流最大值衰减到 0 时，磁滞回线面积也缩小到 0，剩磁感应强度也减小至 0，也就达到了消磁的目的。

2．电路分析

晶闸管无触点自动充、退磁电路原理图如图 3-54 所示，它由主电路、控制电路、多谐振荡器等部分组成。SB2 是充磁启动按钮，SB1 是停止充磁、启动退磁按钮。

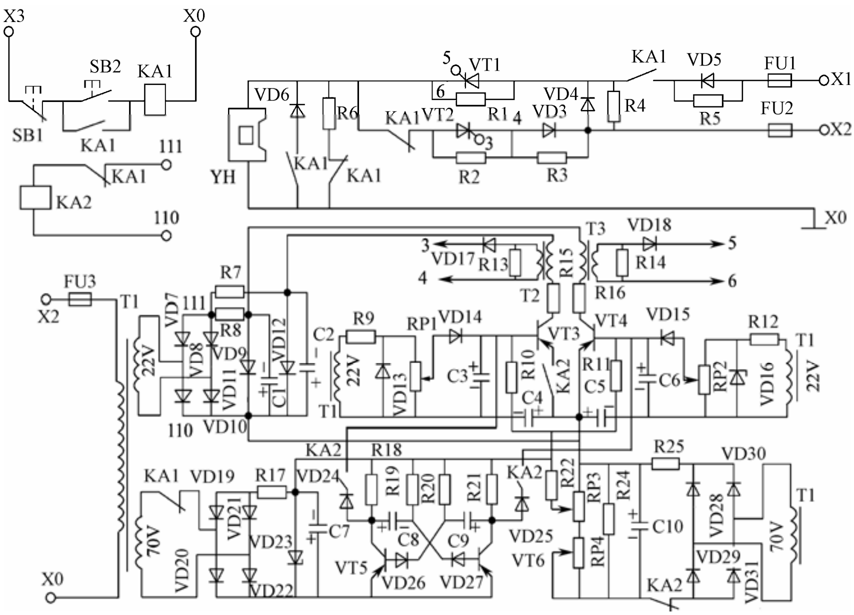


图 3-54　晶闸管无触点自动充、退磁电路原理图

（1）主电路

由反向并联的晶闸管 VT1、VT2 组成两相零式整流电路。充磁时，按下 SB2，KA1 得电并自锁，接通充磁控制电路。此时，晶闸管 VT1 导通，可以通过调节电位器 RP3 改变给定电压，从而改变 VT1 的导通角，使电磁吸盘获得 0～110V 连续可调的直流电压。退磁时，按下 SB1，KA1 断电释放，KA2 得电动作，接通退磁工作电路。此时，VT1、VT2 交替导通，并不断改变 VT1、VT2 的导通角，使电磁吸盘获得正负交替变化的衰减电流，从而达到自动消磁的目的。

（2）触发电路

由晶体三极管 VT3、VT4 构成两个锯齿波发生器，作为 VT1、VT2 的触发电路。充磁时，VT3 发射极开路，只有 VT4 工作，使晶闸管 VT1 导通，保证电磁吸盘获得稳定的直流电压。退磁时，VT3、VT4 在控制电路及多谐振荡器的共同控制下交替工作，从而使 VT1、VT2 轮流导通。

（3）控制电路

由 VD28～VD31 4 个二极管组成的桥式整流电路将 70V 交流电压整流，经 R25 及 C10 滤波，再由电位器 RP3 分压，取出给定电压叠加到 VT3、VT4 两个三极管的基极。改变给定电压即可改变三极管由截止转为导通的时间，从而改变晶闸管的导通角。充磁时，调整电位器 RP3 即可改变给定电压，从而改变电磁吸盘上的直流电压。退磁时，继电器 KA2 通电，其常闭触点断开，电容器 C10 通过 R4 放电，由 RP3 取出的给定电压不断减小，使 VT3、VT4 的导通时间后移，VT1、VT2 的导通角逐渐减小，从而使激磁电流逐渐衰减到 0，达到自动消磁的目的。

（4）多谐振荡器

由晶体三极管 VT5、VT6 组成的多谐振荡器在退磁时开始工作。从两个三极管集电极引出的相位相反的方波，叠加到 VT3、VT4 的基极，使两个锯齿波发生器交替工作，控制

晶闸管 VT1、VT2 轮流导通。这样，电磁吸盘得到交替变化且自动衰减的激磁电流，电流变化的频率与多谐振荡器的振荡频率相等。

3.11 组合机床电气控制系统

前面所述的金属切削机床均为通用机床，在通用机床上只能一道工序一道工序进行加工，生产效率低，加工质量不稳定，操作频繁，工人劳动强度大。组合机床是由通用部件和专用部件组成的工序集中的高效率专用机床，能实现多刀、多面、多工序、多工位同时加工。其控制系统大都采用机械、液压或气动、电气相结合的控制方式，其中电气控制又起着中枢连接作用。电气控制系统的基本电路由通用部件的典型控制电路和一些基本控制环节组成，再根据加工、操作要求和自动循环过程综合而成。

组合机床的通用部件包括动力部件（如动力头和动力滑台）、支承部件（如滑座、床身、立柱及中间底座）、输送部件（如口转分度工作台、口转毂轮、自动线工作口转台及零件输送装置）、控制装置（如液压元件、控制板、按钮台及电气挡铁）等。

动力头和动力滑台是组合机床最主要的通用部件，是完成刀具切削运动和进给运动的部件。其中动力头能同时完成切削运动和进给运动，动力滑台只能完成进给运动。

3.11.1 机械动力滑台控制线路

机械动力滑台由滑台、滑座及双电机传动装置三部分组成，滑台的自动工作循环由机械传动及电气控制完成。图 3-55 是具有正反向工作进给的机械滑台的控制电路。

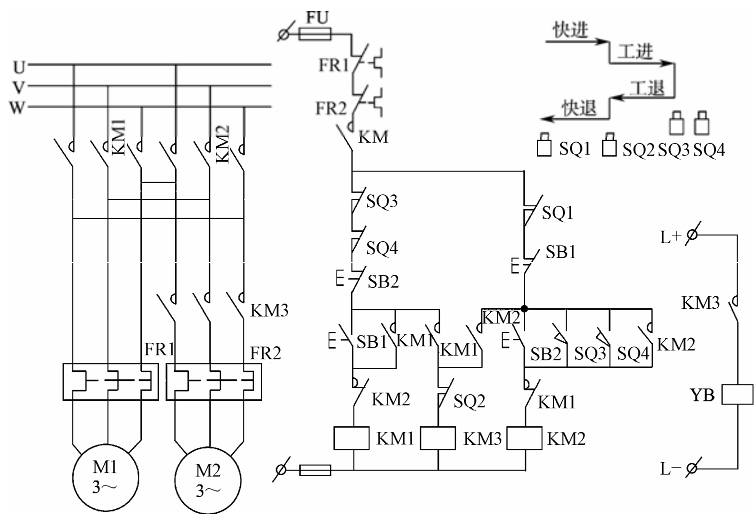


图 3-55 具有正反向工作进给的机械滑台的控制电路

图 3-55 中，M1 为进给电动机，M2 为快速电动机，接触器 KM1、KM2 控制两台电动机的正反转，KM3 控制 M2 电源的通断。SQ1 为原位行程开关，SQ2 为快进转工进或工退转快退行程开关，SQ3 为工作进给终点行程开关，KM 为主轴电动机接触器常开触点，YB 为制动电磁铁。

线路工作过程如下：在主轴电动机启动情况下，按下滑台向前启动按钮 SB1，KM1 线圈得电并自锁；同时，KM3 得电吸合，YB 通电，M1、M2 正向启动旋转，滑台以快进速

度加上工进速度向前移动。当快进到位、挡铁压下 SQ2 时，KM3 断电释放，YB 断电，快速电动机 M2 停转并制动，滑台仅以工进速度继续向前。此时，SQ2 由长挡铁压下，直至加工结束，SQ3 压下，KM1 断电释放，KM2 通电吸合，工进电动机 M1 反转，滑台以工进速度后退；后退至长挡铁松开 SQ2，KM3 再次通电吸合，YB 通电，快速电动机 M2 反向启动，滑台以快退速度加上工退速度快速退回原位，压下 SQ1，KM2、KM3 断电释放，M1、M2 同时停转，YB 对 M2 进行制动，滑台停在原位。

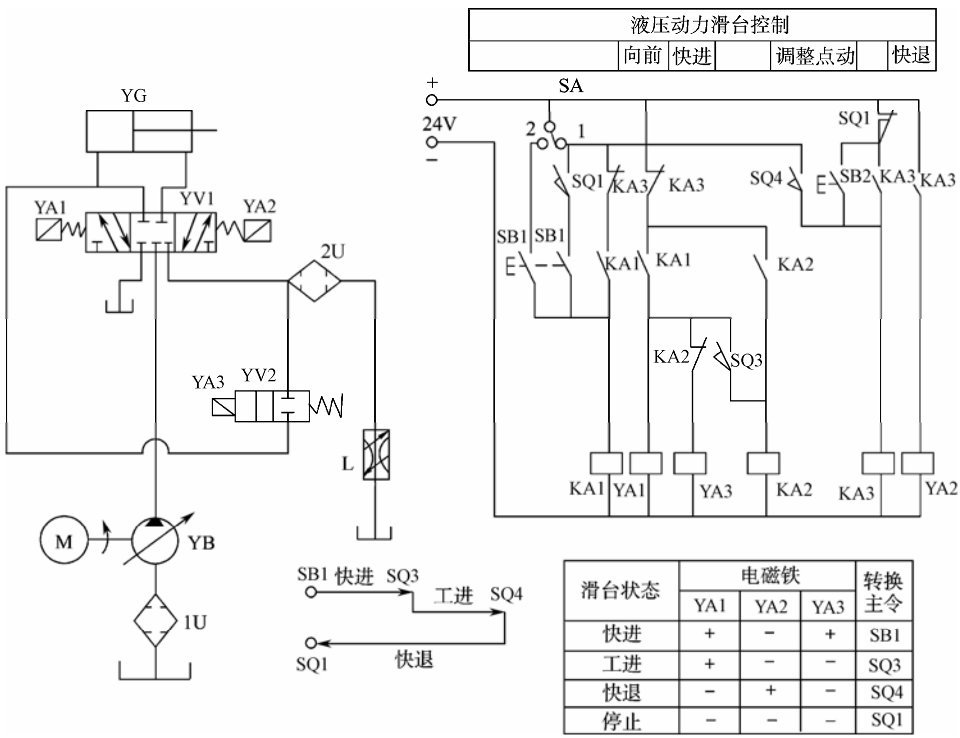
SB2 是停止向前并反向后退的按钮。SQ4 为超行程限位开关，若正向工进超过预定行程，则 SQ4 被压下，KM2、KM3、YB 相继通电，滑台先反向工退，然后快退至原位，起到超行程保护作用。

3.11.2　液压动力滑台控制线路

液压动力滑台的进给运动是借助压力油通入液压缸的前腔和后腔来实现的。液压动力滑台由滑台、滑座、液压缸三部分组成。液压缸驱动滑台在滑座上移动，它自身不带液压泵、油箱等装置，需单独设置专门的液压站与其配套，它是由电动机拖动液压泵送出压力油，经电气、液压元件的控制，推动液压缸中的活塞来驱动滑台工作的。滑台的工作速度通过调节节流阀进行无级调速。

1．一次工进的液压动力滑台电气控制线路

液压动力滑台一次工进液压系统及控制线路如图 3-56 所示。其工作循环是：滑台快进→工作进给→快速退回至原位。适用于要求工作进给速度不变的情况。



滑台状态	电磁铁			转换主令
	YA1	YA2	YA3	
快进	+	−	+	SB1
工进	+	−	−	SQ3
快退	−	+	−	SQ4
停止	−	−	−	SQ1

图 3-56　液压动力滑台一次工进液压系统及控制线路图

（1）原位停止

电磁铁 YA1、YA2、YA3 均为断电状态，滑台停在原位，挡铁压下行程开关 SQ1，其常开触点接通，常闭触点断开。

（2）快进

将转换开关 SA 扳至“1”位，按下 SB1 按钮，中间继电器 KA1 得电并自锁，电磁铁 YA1、YA3 通电，电磁换向阀 YV1 阀芯推向右端，此时进油路为：

滤油网 1U→油泵 YB→换向阀 YV1→油缸 YG 左腔

电磁换向阀 YV2 推向右端，此时回油路为：

油缸 YG 右腔→换向阀 YV1→换向阀 YV2→油缸 YG 左腔

这时油路为差动连接，滑台快速前进。

（3）工进

滑台快进到位时，挡铁压动行程开关 SQ3，其常开触点闭合，中间继电器 KA2 得电并自锁，KA2 常闭触点断开，电磁铁 YA3 断电，YV2 复位，回油不再进入油缸左腔，滑台变为工进。

（4）快退

滑台工进到终点，挡铁压动行程开关 SQ4，中间继电器 KA3 得电并自锁，KA3 常闭触点断开，电磁铁 YA1 断电，YA2 通电，换向阀 YV1 阀芯左移，滑台停止工进，并快速退回。

进油路为：

滤油网 1U→油泵 YB→换向阀 YV1→油缸右腔

回油路为：

油缸左腔→换向阀 YV1→油箱

当滑台退回原位时，压下行程开关 SQ1，其常闭触点断开，中间继电器 KA3 断电，电磁铁 YA2 断电，换向阀 YV1 回到中间位置，滑台原位停止。

（5）点动调整

将转换开关 SA 扳至“2”位，按下 SB1，继电器 KA1 得电，电磁铁 YA1、YA3 通电，换向阀 YV1、YV2 都推向右端，油路与滑台快进时相同，滑台向前快进。松开 SB1，滑台停止。

当滑台不在原位需快退时，按下 SB2，继电器 KA3 通电，电磁铁 YA2 通电，滑台快退。当滑台退至原位时，压下 SQ1，KA3 断电，滑台原位停止。

2．二次工进的液压动力滑台电气控制线路

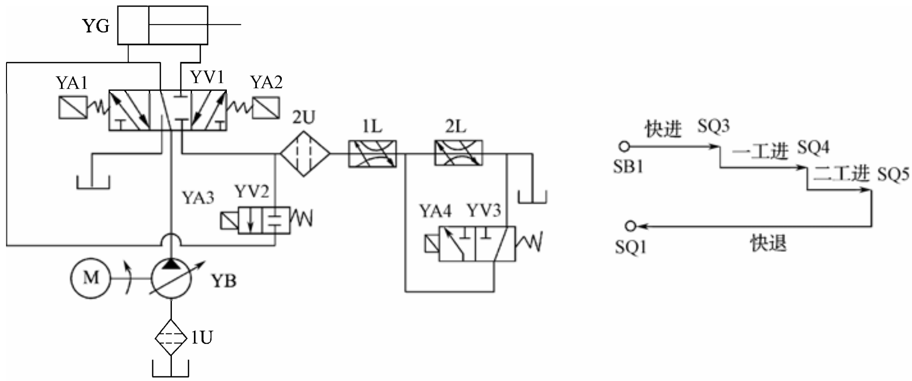
液压动力滑台二次工进液压系统及控制线路如图 3-57 所示，其工作循环为：快进→工进→二工进→快退。

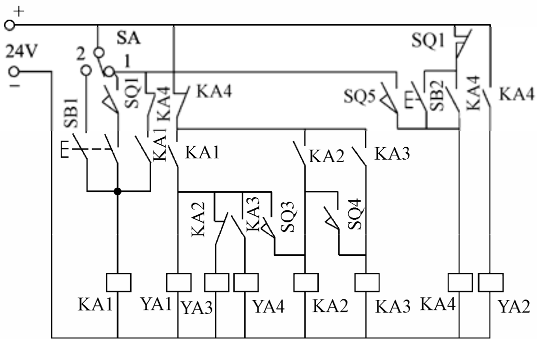
（1）原位停止

电磁铁 YA1～YA4 均断电，电磁换向阀 YV1～YV3 如图 3-57 所示位置，油泵 YB 打出的压力油经 YV1 流回油箱，油缸 YG 不动，滑台停在原位，SQ1 被压下。

（2）快进

将转换开关 SA 扳至“1”位，按下 SB1，中间继电器 KA1 得电，电磁铁 YA1、YA3 随之通电，压力油经 YV1 进入油缸左腔，油缸回油经 YV2 又回到油缸左腔，油缸以差动方式工作，滑台快速向前。





滑台状态	电磁铁				转换主令
	YA1	YA2	YA3	YA4	
快进	+	−	+	−	SB1
一工进	+	−	−	−	SQ3
二工进	+	−	−	+	SQ4
快退	−	+	−	−	SQ5
停止	−	−	−	−	SQ6

图 3-57　液压动力滑台二次工进液压系统及控制线路图

（3）一工进

快进到位，挡铁压动 SQ3，KA2 得电并自锁，YA3 断电，油缸右腔的回油只能经节流阀 1L 及换向阀 YV3 流回油箱，滑台由快进变为一工进，进给速度由节流阀 1L 调节。

（4）二工进

一工进到位，挡铁压下行程开关 SQ4 时，KA3 得电并自锁，YA4 通电，油缸口油经节流阀 1L 和 2L 流回油箱，滑台由一工进转为二工进，其速度比一工进慢，可通过节流阀 1L、2L 进行调节。

（5）快退

二工进到位，压动行程开关 SQ5，继电器 KA4 得电并自锁，进给线路被切断；同时，KA4 的常开触点接通 YA2 电路，压力油经换向阀 YV1 进入油缸右腔，回油经 YV1 进入油箱，滑台快速后退。当滑台退至原位时，压动行程开关 SQ1，KA4 断电，YA2 断电，YV1 复位，滑台原位停止。

若转换开关扳至“Z”位，可用 SB1 点动调整，按 SB2 可使滑台退回原位。

3.12　本章小结

本章详细介绍了步进电机伺服系统工作原理及控制方式、直流电机伺服系统及调速方式、常用电气控制基本环节及其应用，并在此基础上分析了三相笼型异步电动机的直接启动控制线路、C650 型卧式车床的电气控制线路、Z3040 型摇臂钻床的电气控制线路、T68 型

卧式镗床的电气控制线路和 M7120 型平面磨床的电气控制线路，为后续章节学习数控机床的 PLC 控制打下基础。

3.13 思考与练习

1．常开触点和常闭触点串联或并联，在电路中分别起什么样的控制作用？

2．设计一个控制电路，要求第一台电动机启动 10s 以后，第二台电动机自动启动，运行 5s 以后，第一台电动机停止转动，同时第三台电动机启动，再运转 15s 后，电动机全部停止。

3．与直流电动机相比，交流伺服电动机有哪些优点？

4．永磁式直流伺服电动机由哪几部分组成？其转子绕组中导体的电流是通过什么来换向的？

5．数控机床直流进给伺服系统通常采用什么方法来实现调速？该调速方法有何特点？

6．交流伺服电动机有哪几种？数控机床的交流进给伺服系统通常使用何种交流伺服电动机？

第 4 章　PLC编程入门及指令系统

随着微处理器、计算机和数字通信技术的飞速发展，计算机控制已扩展到几乎所有的工业领域。现代社会要求制造业对市场需求做出迅速的反应，生产出小批量、多品种、多规格、低成本和高质量的产品，为了满足这一要求，生产设备和自动生产线的控制系统必须具有极高的可靠性和灵活性，PLC（Programmable Logic Controller，可编程序控制器）正是顺应这一要求出现的，它是以微处理器为基础的通用工业控制装置。

PLC 的应用面广、功能强大、使用方便，已经成为当代工业自动化的主要装置之一，在工业生产的许多领域都得到了广泛的使用，在其他领域（如民用和家庭自动化）的应用也得到了迅速的发展。

PLC 的推广应用在我国得到了迅猛的发展，它已大量应用在各种机械设备和生产过程的电气控制装置中，各行各业也涌现出了大批应用 PLC 改造设备的成果。了解 PLC 的工作原理，具备设计、调试和维护 PLC 控制系统的能力，已经成为现代工业对电气技术人员和理工科学生的基本要求。

【本章重点】

- 了解 PLC 的工作原理、硬件结构、编程元件与指令系统;
- 掌握梯形图的设计方法;
- 掌握 PLC 控制系统的设计和调试方法。

4.1　PLC概述

4.1.1　PLC的基本结构

PLC 主要由 CPU 模块、输入模块、输出模块和编程器组成，如图 4-1 所示。有的 PLC 还可以配备特殊功能模块，用来完成某些特殊的任务。

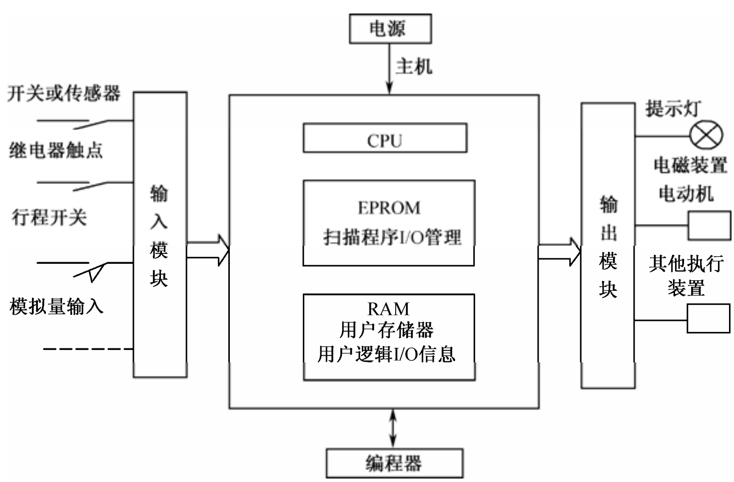


图 4-1　PLC 的组成框图

1．CPU模块

CPU 模块主要由微处理器（CPU 芯片）和存储器组成。在 PLC 控制系统中，CPU 模块相当于人的大脑，它不断地采集输入信号，执行用户程序，刷新系统的输出；存储器用来储存程序和数据。

2．I/O模块

输入（Input）模块和输出（Output）模块简称为 I/O 模块，它们相当于系统的眼、耳、手、脚，是联系外部现场设备和 CPU 模块的桥梁。

输入模块用来接收和采集输入信号，开关量输入模块用来接收从按钮、选择开关、数字拨码开关、限位开关、接近开关、光电开关、压力继电器等过来的开关量输入信号；模拟量输入模块用来接收电位器、测速发电机和各种变送器提供的连续变化的模拟量电流、电压信号。

开关量输出模块用来控制接触器、电磁阀、电磁铁、指示灯、数字显示装置和报警装置等输出设备，模拟量输出模块用来控制调节阀、变频器等执行装置。

CPU 模块的工作电压一般是 5V，而 PLC 的输入/输出信号电压一般较高，如直流 24V 和交流 220V。从外部引入的尖峰电压和干扰噪声可能损坏 CPU 模块中的元器件，或使 PLC 不能正常工作。在 I/O 模块中，用光耦合器、光电晶闸管、小型继电器等器件来隔离 PLC 的内部电路和外部 I/O 电路，I/O 模块除了传递信号外，还有电平转换与隔离的作用。

3．编程器

编程器是 PLC 必不可少的重要外部设备。编程器将用户所希望的功能通过编程语言送到 PLC 的用户程序存储器中。编程器不仅能对程序进行写入、读出、修改，还能对 PLC 的工作状态进行监控，同时也是用户与 PLC 之间进行人机对话的界面。手持式编程器不能直接输入和编辑梯形图，只能输入和编辑指令表程序，因此又叫指令编程器。它的体积小，价格便宜，一般用来给小型 PLC 编程，或者用于现场调试和维护。

使用编程软件可以在计算机的屏幕上直接生成和编辑梯形图、指令表、功能块图和顺序功能图程序，并可以实现不同编程语言的相互转换。程序被编译后下载到 PLC，也可以将 PLC 中的程序上传到计算机。程序可以存盘或打印，通过网络，还可以实现远程编程和传送。

4．电源

PLC 一般使用 220V 交流电源或 24V 直流电源。内部的开关电源为各模块提供 DC 5V，±12V，24V 等直流电源。小型 PLC 一般都可以为输入电路和外部的电子传感器（如接近开关）提供 24V 直流电源，驱动 PLC 负载的直流电源一般由用户提供。

4.1.2　PLC的物理结构

根据硬件结构的不同，可以将 PLC 分为整体式 PLC 和模块式 PLC。

1．整体式PLC

整体式 PLC 又叫做单元式或箱体式 PLC，CPU 模块、I/O 模块和电源装在一个箱状机壳内，结构非常紧凑。它的体积小、价格低，小型 PLC 一般采用整体式结构。三菱公司的 FX1S 系列 PLC 为整体式 PLC。

整体式 PLC 提供多种不同 I/O 点数的基本单元和扩展单元供用户选用，基本单元内有 CPU 模块、I/O 模块和电源，扩展单元内只有 I/O 模块和电源，基本单元和扩展单元之间用扁平电缆连接。各单元的输入点与输出点的比例一般是固定的，有的 PLC 有全输入型和全输出型的扩展单元。选择不同的基本单元和扩展单元，可以满足用户的不同要求。

整体式 PLC 一般配备有许多专用的特殊功能单元，如模拟量 I/O 单元、位置控制单元和通信单元等，使 PLC 的功能得到扩展。

FX 系列的基本单元、扩展单元和扩展模块的高度及深度相同，但是宽度不同。它们不用基板，各模块可用底部自带的卡子卡在 DIN 导轨上，两个相邻的单元或模块之间用扁平电缆连接，安装好后组成一个整齐的长方体。

2．模块式PLC

大、中型 PLC（如西门子的 S7-300 和 S7-400 系列）一般采用模块式结构。模块式 PLC 用搭积木的方式组成系统，它由机架和模块组成。模块插在模块插座上，后者焊在机架的总线连接板上，有的厂家将机架称为基板。PLC 厂家备有不同槽数的机架供用户选用，如果一个机架容纳不下所选用的模块，可以增设一个或数个扩展机架，各机架之间用 I/O 扩展电缆相连，有的 PLC 需要通过接口模块来连接各机架。

用户可以选用不同档次的 CPU 模块、品种繁多的 I/O 模块和特殊功能模块，对硬件配置的选择余地较大，维修时更换模块也很方便。

有的模块式 PLC（如西门子的 S7-300 系列 PLC）没有机架，各模块安装在铝质导轨上，相邻的模块之间用模块下面的 U 形总线连接器连接。

4.1.3　PLC的工作原理

1．扫描工作方式

PLC 有两种基本的工作模式，即运行（RUN）模式与停止（STOP）模式。在运行模式下，PLC 通过反复执行反映控制要求的用户程序来实现控制功能。为了使 PLC 的输出及时地响应随时可能变化的输入信号，用户程序不是只执行一次，而是不断地重复执行，直至 PLC 停机或切换到 STOP 工作模式。

除了执行用户程序外，在每次循环过程中，PLC 还要完成内部处理、通信处理等工作，一次循环可分为 5 个阶段，如图 4-2 所示，PLC 的这种周而复始的循环工作方式称为扫描工作方式。由于计算机执行指令的速度极高，从外部输入/输出关系来看，处理过程似乎是同时完成的。

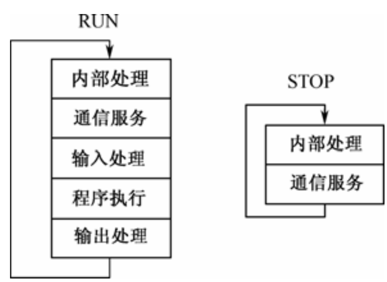


图 4-2　扫描过程

在内部处理阶段，PLC 检查 CPU 模块内部的硬件是否正常，将监控定时器复位，同时完成一些其他内部工作。

在通信服务阶段，PLC 与其他带微处理器的智能装置通信，响应编程器输入的命令，更新编程器的显示内容。

当 PLC 处于停止（STOP）模式时，只执行以上的操作。PLC 处于运行（RUN）模式时，还要完成另外三个阶段的操作。

在 PLC 的存储器中，设置了一片区域用来存放输入信号和输出信号的状态，它们分别称为输入映像寄存器和输出映像寄存器。PLC 梯形图中的其他编程元件也有对应的映像存储区，它们统称为元件映像寄存器。

在输入处理阶段，PLC 把所有外部输入电路的接通、断开状态读入输入映像寄存器。外部输入电路接通时，对应的输入映像寄存器为 1 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点接通，常闭触点断开。外部输入触点电路断开时，对应的输入映像寄存器为 0 状态，梯形图中对应的输入继电器的常开触点断开，常闭触点接通。

某一编程元件对应的映像寄存器为 1 状态时，称该编程元件为 ON；其映像寄存器为 0 状态时，称该编程元件为 OFF。

在程序执行阶段，即使外部输入信号的状态发生了变化，输入映像寄存器的状态也不会随之而变，输入信号变化了的状态只能在下一个扫描周期的输入处理阶段被读入。

PLC 的用户程序由若干条指令组成，指令在存储器中按步序号顺序排列。在没有跳转指令时，CPU 从第一条指令开始，逐条顺序地执行用户程序，直到用户程序结束。在执行指令时，从输入映像寄存器或别的元件映像寄存器中将有关编程元件的 0/1 状态读进来，并根据指令的要求执行相应的逻辑运算，运算的结果写入对应的元件映像寄存器中，因此，各编程元件映像寄存器（输入映像寄存器除外）的内容会随着程序的执行而变化。

在输出处理阶段，CPU 将输出映像寄存器的 0/1 状态传送到输出锁存器。梯形图中某一输出继电器的线圈“通电”时，对应的输出映像寄存器为 1 状态。信号经输出模块隔离和功率放大后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈通电，其常开触点闭合，使外部负载通电工作。

若梯形图中输出继电器的线圈“断电”，对应的输出映像寄存器为 0 状态，在输出处理阶段之后，继电器型输出模块中对应的硬件继电器的线圈断电，其常开触点断开，外部负载断电，停止工作。

2．扫描周期

PLC 在 RUN 工作模式时，执行一次图 4-2 所示的扫描操作所需的时间称为扫描周期，其典型值约为 1～100ms。扫描周期与用户程序的长短、指令的种类和 CPU 执行指令的速度有很大的关系。当用户程序较长时，指令执行时间在扫描周期中占相当大的比例。有的编程软件或编程器可以提供扫描周期的当前值，有的还可以提供扫描周期的最大值和最小值。

3．PLC的工作原理

下面用一个简单的例子来进一步说明 PLC 的扫描工作过程。图 4-3（a）给出了 PLC 的外部接线图和梯形图，启动按钮 SB1、停止按钮 SB2 和热继电器 FR 的常开触点分别接在编号为 X0～X2 的 PLC 的输入端，交流接触器 KM 的线圈接在编号为 Y0 的 PLC 的输出端。图 4-3（b）是这 4 个输入/输出变量对应的 I/O 映像寄存器。图 4-3（c）是 PLC 的梯形图，梯形图是一种软件，是 PLC 图形化的程序。图中的 X0 等是梯形图中的编程元件，X0～X2 是输入继电器，Y0 是输出继电器。梯形图中的编程元件 X0 与接在输入端子 X0 的 SB1 的常开触点及输入映像寄存器 X0 相对应，编程元件 Y0 与输出映像寄存器 Y0 及接在输出端子 Y0 的 PLC 内部的输出电路相对应。

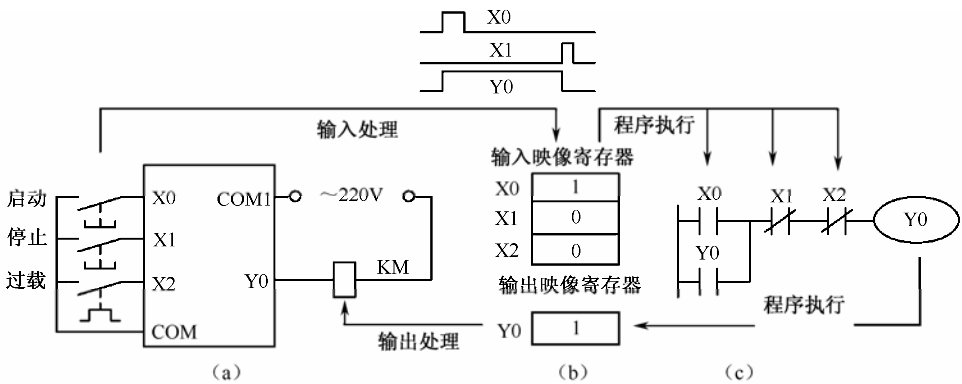


图 4-3　PLC 外部接线图与梯形图

梯形图以指令的形式储存在 PLC 的用户程序存储器中，图 4-3 中的梯形图与下面的 5 条指令相对应，“;”之后是该指令的注释。

```
LD     X0     ；接在左侧母线上的 X0 的常开触点
OR     Y0     ；与 X0 的常开触点并联的 Y0 的常开触点
ANI    X1     ；与并联电路串联的 X1 的常闭触点
ANI    X2     ；串联的 X2 的常闭触点
OUT    Y0     ；Y0 的线圈
```

图 4-3 中的梯形图完成的逻辑运算为：$Y0=(X0+Y0)\cdot X1\cdot X2$。

在输入处理阶段，CPU 将 SB1、SB2 和 FR 的常开触点的状态读入相应的输入映像寄存器，外部触点接通时存入寄存器的是二进制数 1，反之存入 0。

执行第 1 条指令时，从 X0 对应的输入映像寄存器中取出二进制数并保存起来。执行第 2 条指令时，取出 Y0 对应的输出映像寄存器中的二进制数，与 X0 对应的二进制数相“或”（电路的并联对应“或”运算）。执行第 3 条或第 4 条指令时，分别取出 X1 或 X2 对应的输入映像寄存器中的二进制数，因为是常闭触点，取反后与前面的运算结果相“与”（电路的串联对应“与”运算），然后存入运算结果寄存器。执行第 5 条指令时，将运算结果寄存器中的二进制数送入 Y0 对应的输出映像寄存器。

在输出处理阶段，CPU 将各输出映像寄存器中的二进制数传送给输出模块并锁存起来，如果 Y0 对应的输出映像寄存器存放的是二进制数 1，外接 KM 的线圈将通电，反之将断电。

如果读入输入映像寄存器 X0～X2 的均为二进制数 0，在程序执行阶段，经过上述逻辑运算过程之后，运算结果仍为 Y0=0，因此 KM 的线圈处于断电状态。按下启动按钮 SB1，X0 变为 1 状态，经逻辑运算后 Y0 变为 1 状态，在输出处理阶段，将 Y0 对应的输出映像寄存器中的 1 送到输出模块，PLC 内 Y0 对应的物理继电器的常开触点接通，接触器 KM 的线圈通电。

4．输入/输出滞后时间

输入/输出滞后时间又称系统响应时间，是指 PLC 外部输入信号发生变化的时刻至它控制的有关外部输出信号发生变化的时刻之间的时间间隔，它由输入电路滤波时间、输出电路的滞后时间和因扫描工作方式产生的滞后时间三部分组成。

输入模块的 RC 滤波电路用来滤除由输入端引入的干扰噪声，消除因外接输入触点动作

时产生的抖动引起的不良影响，滤波电路的时间常数决定了输入滤波时间的长短，其典型值为 10ms 左右。

输出模块的滞后时间与模块的类型有关，继电器型输出电路的滞后时间一般在 10ms 左右；双向晶闸管型输出电路在负载通电时的滞后时间约为 1ms，负载由通电到断电时的最大滞后时间为 10ms；晶体管型输出电路的滞后时间一般在 1ms 以下。

由扫描工作方式引起的滞后时间最长可达两个多扫描周期。PLC 总的响应延迟时间一般只有几十毫秒，对于一般的系统是无关紧要的。要求输入/输出信号之间的滞后时间尽量短的系统，可以选用扫描速度快的 PLC 或采取其他措施。

4.1.4 PLC的特点

1．编程方法简单易学

梯形图是使用最多的 PLC 编程语言，其电路符号和表达方式与继电器电路原理图相似，梯形图语言形象直观，易学易懂，熟悉继电器电路图的电气技术人员只需花很短的时间就可以熟悉梯形图语言，并用来编制用户程序。

梯形图语言实际上是一种面向用户的高级语言，PLC 在执行梯形图程序时，将它“翻译”成汇编语言后再去执行。

2．功能强，性能价格比高

一台小型 PLC 内有成百上千个可供用户使用的编程元件，有很强的功能，可以实现非常复杂的控制功能；与相同功能的继电器系统相比，具有很高的性能价格比。PLC 可以通过通信联网，实现分散控制，集中管理。

3．硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强

PLC 产品已经标准化、系列化、模块化，配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的系统。PLC 的安装接线也很方便，一般用接线端子连接外部接线。PLC 带有负载能力，可以直接驱动一般的电磁阀和中小型交流接触器。硬件配置确定后，通过修改用户程序，就可以方便快速地适应工艺条件的变化。

4．可靠性高，抗干扰能力强

传统的继电器控制系统中使用了大量的中间继电器、时间继电器，由于触点接触不良，容易出现故障。PLC 用软件代替大量的中间继电器和时间继电器，仅剩下与输入和输出有关的少量硬件元件，接线可减少到继电器控制系统的 1/10～1/100，因触点接触不良造成的故障大为减少。

PLC 使用了一系列硬件和软件抗干扰措施，具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场，被广大用户公认为最可靠的工业控制设备之一。

5．系统的设计、安装、调试工作量少

PLC 用软件功能取代了继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。

PLC 的梯形图程序可以用顺序控制设计法来设计。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，如果掌握了正确的设计方法，设计梯形图的时间比设计继电器系

统电路图的时间要少得多。

可以在实验室模拟调试 PLC 的用户程序，输入信号用小开关来模拟，可通过 PLC 发光二极管观察输出信号的状态。完成系统的安装和接线后，在现场统调过程中发现的问题一般通过修改程序就可以解决，系统的调试时间比继电器系统少得多。

6．维修工作量小，维修方便

PLC 的故障率很低，且有完善的自诊断和显示功能。PLC 或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据 PLC 上发光二极管或编程器提供的信息方便地查明故障的原因，用更换模块的方法可以迅速地排除故障。

7．体积小，能耗低

对于复杂的控制系统，使用 PLC 后，可以减少大量的中间继电器和时间继电器。小型 PLC 的体积仅相当于几个继电器的大小，因此可将开关柜的体积缩小到原来的 1/2～1/10。

PLC 控制系统的配线比继电器控制系统的少得多，故可以省下大量的配线和附件，减少很多安装接线工时，加上开关柜体积的缩小，可以节省大量的费用。

4.1.5　PLC的应用领域

在工业发达的国家，PLC 已经广泛地应用在所有的工业部门。随着 PLC 性能价格比的不断提高，其应用范围不断扩大，主要有以下几个方面。

1．开关量逻辑控制

PLC 具有“与”、“或”、“非”等逻辑指令，可以实现触点和电路的串、并联，代替继电器组合逻辑控制、定时控制与顺序逻辑控制。开关量逻辑控制可以用于单台设备，也可以用于自动生产线，其应用领域已遍及各行各业，甚至深入到家庭。

2．运动控制

PLC 使用专用的指令或运动控制模块，对直线运动或圆周运动的位置、速度和加速度进行控制，可实现单轴、双轴、3 轴和多轴位置控制，使运动控制与顺序控制功能有机地结合在一起。PLC 的运动控制功能广泛地用于各种机械，如金属切削机床、金属成型机械、装配机械、机器人、电梯等场合。

3．闭环过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等连续变化的模拟量的闭环控制。PLC 通过模拟量 I/O 模块，实现模拟量（Analog）和数字量（Digital）之间的 A/D 转换与 D/A 转换，并对模拟量实行闭环 PID（比例–积分–微分）控制。现代的大中型 PLC 一般都有 PID 闭环控制功能，这一功能可以用 PID 子程序或专用的 PID 模块来实现。PID 闭环控制功能已经广泛地应用于塑料挤压成型机、加热炉、热处理炉、锅炉等设备，以及轻工、化工、机械、冶金、电力、建材等行业。

4．数据处理

现代的 PLC 具有数学运算（包括四则运算、矩阵运算、函数运算、字逻辑运算、求反、循环、移位和浮点数运算等）、数据传送、转换、排序和查表、位操作等功能，可以完成数据的采集、分析和处理。这些数据可以与储存在存储器中的参考值比较，也可以用通信功能传送到别的智能装置，或者将它们打印制表。

5．通信联网

PLC 的通信包括主机与远程 I/O 之间的通信、多台 PLC 之间的通信、PLC 与其他智能控制设备（如计算机、变频器、数控装置）之间的通信。PLC 与其他智能控制设备一起，可以组成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统。必须指出，并不是所有的 PLC 都有上述全部功能，有些小型 PLC 只有上述的部分功能，但是价格较低。

4.1.6　PLC的主要生产厂家

我国有不少的厂家研制和生产过 PLC，但是还没有出现有影响力和较大市场占有率的产品，目前我国使用的 PLC 几乎都是国外品牌的产品。

在全世界上百个 PLC 制造厂中，有几家举足轻重的公司，它们是美国 Rockwell 自动化公司所属的 A.B（Allen & Bradly）公司、GE-Fanuc 公司，德国的西门子（Siemens）公司，法国的施耐德（Schneider）自动化公司，日本的三菱公司和欧姆龙（OMRON）公司。这几家公司控制着全世界 80%以上的 PLC 市场，它们的系列产品有其技术广度和深度，从微型 PLC 到有上万个 I/O（输入/输出）点的大型 PLC，应有尽有。

与个人计算机相比，PLC 在标准化方面作得稍差一些，主要体现在以下几点：PLC 的软、硬件体系结构是封闭而不是开放的；绝大多数 PLC 使用专用的总线、专用通信网络及协议；各种 PLC 产品的编程语言在表示方式、寻址方式和语法结构上都不一致，使得它们互不兼容。国际电工委员会的 IEC61131-3《可编程序控制器的编程软件标准》为 PLC 编程的标准化铺平了道路。不少厂家正在开发以 PC（个人计算机）为硬件平台、在 Windows 操作系统下、符合 IEC61131-3 国际标准的新一代开放体系结构的 PLC。目前有的厂家已推出了符合或接近 IEC61131-3 标准的编程软件，但是仍然有相当多的 PLC 产品的编程语言与 IEC61131-3 有较大的差异。尽管如此，各种 PLC 产品在软件上还是比较接近的，学好了一种 PLC 的编程语言，再学别的 PLC 就比较容易了。

本章以三菱公司最新推出的 FX1S、FX1N、FX2N 和 FX2NC 系列小型 PLC 为主要讲授对象。三菱的 FX 系列 PLC 以其极高的性能价格比，在我国占有很大的市场份额，FX 系列的功能强、应用范围广，可满足大多数用户的需要。

4.2　FX系列PLC性能简介

4.2.1　FX系列PLC的特点

1．体积极小的微型PLC

FX1S、FX1N、FX2N 和 FX2NC 系列 PLC 的高度为 90mm，深度为 75mm（FX1S 和 FX1N 系列）和 87mm（FX2N 和 FX2NC 系列），FX1S-14M（14 个 I/O 点的基本单元）的底部尺寸仅为 90mm×60mm，相当于一张卡片大小，很适合在机电一体化产品中使用。内置的 24V DC 电源可作输入回路的电源和传感器的电源。

2．先进美观的外部结构

三菱公司的 FX 系列 PLC 吸收了整体式和模块式 PLC 的优点，它的基本单元、扩展单元和扩展模块的高度与深度相同，宽度不同。它们之间用扁平电缆连接，紧密拼装后组成一个整齐的长方体。

3．提供多个子系列供用户选用

FX1S、FX1N、FX2N 和 FX2NC 的外观、高度、深度差不多，但是性能和价格有很大的差别，如表 4-1 所示。

表 4-1　FX1S、FX1N、FX2N 和 FX2NC 的性能比较

型　号	I/O 点数	用户程序步数	应用指令	通信功能	基本指令执行时间
FX1S	10～30	2K 步 EEPROM	85 条	较强	0.55～0.7μs
FX1N	14～128	8K 步 EEPROM	89 条	强	0.55～0.7μs
FX2N 和 FX2NC	16～256	内置 8K 步 RAM，最大 16K 步	128 条	最强	0.08μs

FX1S 的功能简单实用，价格便宜，可用于小型开关量控制系统，最多 30 个 I/O 点，有通信功能，可用于一般的紧凑型 PLC 不能应用的地方；FX1N 最多可配置 128 个 I/O 点，可用于要求较高的中小型系统；FX2N 的功能最强，可用于要求很高的系统；FX2NC 的结构紧凑，基本单元有 16 点、32 点、64 点和 96 点 4 种，可扩展到 256 点，有很强的通信功能。由于不同的系统可以选用不同的子系列，避免了功能的浪费，因此使用户能用最少的投资来满足系统的要求。

4．灵活多变的系统配置

FX 系列 PLC 的系统配置灵活，用户除了可选不同的子系列外，还可以选用多种基本单元、扩展单元和扩展模块，组成不同 I/O 点和不同功能的控制系统。FX 系列的硬件配置就像模块式 PLC 那样灵活，因为它的基本单元采用整体式结构，又具有比模块式 PLC 更高的性能价格比。

每台 PLC 可将一块功能扩展板安装在基本单元内，不需要外部的安装空间。这种功能扩展板的价格非常便宜，品种有以下几类：4 点开关量输入板、2 点开关量输出板、2 路模拟量输入板、1 路模拟量输出板、8 点模拟量调整板、RS-232C 通信板、RS-485 通信板和 RS-422 通信板。

显示模块 FX1N-5DM 的价格便宜，可以直接安装在 FX1S 和 FX1N 上，它可以显示实时时钟的当前时间和错误信息，可对定时器、计数器和数据寄存器等进行监视，可对设定值进行修改。

FX 系列还有许多特殊模块，如模拟量输入/输出模块、热电阻、热电偶温度传感器用模拟量输入模块、温度调节模块、高速计数器模块、脉冲输出模块、定位控制器、可编程凸轮开关、CC-Link 系统主站模块、CC-Link 接口模块、MELSEC 远程 I/O 连接系统主站模块、AS-i 主站模块、DeviceNet 接口模块、Profibus 接口模块、RS-232C 通信接口模块、RS-232C 适配器、RS-485 通信板适配器、RS-232C/RS-485 转换接口等。

FX 系列 PLC 还有多种规格的数据存取单元，可用来修改定时器、计数器的设定值和数据寄存器的数据，也可用来作监控装置，有的可以显示字符，有的可以显示画面。

5．功能强，使用方便

FX 系列 PLC 的体积虽小，却具有很强的功能。它内置高速计数器，有输入/输出刷新、中断、输入滤波时间调整、恒定扫描时间等功能，有高速计数器的专用比较指令。使用脉冲列输出功能，可直接控制步进电动机或伺服电动机。脉冲宽度调制功能可用于温度控制或照明灯的调光控制。可设置 8 位数字密码，以防止他人对用户程序的误改写或盗用，保护

设计者的知识产权。FX 系列 PLC 的基本单元和扩展单元一般采用插接式的接线端子排，更换单元方便快捷。

FX1S 和 FX1N 系列 PLC 使用 EEPROM，不需要定期更换锂电池，成为几乎不需要维护的电子控制装置；FX2N 系列使用带后备电池的 RAM。若采用可选的存储器扩充卡盒，FX2N 的用户存储器容量可扩充到 16K 步，可选用 RAM、EPROM 和 EEPROM 存储器卡盒。

FX1S 和 FX1N 系列 PLC 有两个内置的设置参数用的小电位器，FX2N 和 FX1N 系列可选用有 8 点模拟设定功能的功能扩展板，可以用旋具调节设定值。

FX 系列 PLC 可在线修改程序，通过调制解调器和电话线可实现远程监视和编程，元件注释可储存在程序存储器中。持续扫描功能可用于定义扫描周期，可调节 8 点输入滤波器的时间常数，面板上的运行/停止开关易于操作。

4.2.2 FX系列PLC型号名称的含义

FX 系列 PLC 型号名称的含义如下：

FX-（1）-（2）-（3）-（4）-（5）

（1）如子系列名称，如 1S，1N，2N 等。

（2）如输入/输出的总点数。

（3）表示单元类型。M 为基本单元，E 为输入、输出混合扩展单元与扩展模块，EX 为输入专用扩展模块，EY 为输出专用扩展模块。

（4）表示输出形式。R 为继电器输出，T 为晶体管输出，S 为双向晶闸管输出。

（5）表示电源和输入、输出类型等特性。D 和 DS 为 DC 24V 电源；DSS 为 DC 24V 电源，源晶体管输出；ES 为交流电源；ESS 为交流电源，源晶体管输出；UA1 为 AC 电源，AC 输入。

例如，FX1N-60MT-D，属于 FX1N 系列，是有 60 个 I/O 点的基本单元，晶体管输出型，使用 24V 直流电源。

4.2.3 FX系列PLC的一般技术指标

FX 系列 PLC 的一般技术指标包括输入技术指标（如表 4-2 所示）和输出技术指标（如表 4-3 所示）。其中，输入技术指标包括输入电压、输入信号电压、输入信号电流、输入响应时间、输入信号形式等，输出技术指标包括外部电源、最大负载、最小负载、响应时间、开路漏电流、输出动作显示等。

表 4-2 FX 系列 PLC 输入技术指标

输入电压	DC 24V±10%	
元件号	X0～X7	其余输入点
输入信号电压	DC 24V±10%	
输入信号电流	DC 24V，7mA	DC 24V，5mA
输入开关电流 OFF→ON	>4.5mA	>3.5mA
输入开关电流 ON→OFF	<1.5mA	
输入响应时间	10ms	
可调节输入响应时间	X0～X7 为 0→60ms（FX2N），其余系列 0→15ms	
输入信号形式	无电压触点，或 NPN 集电极开路输出晶体管	
输入状态显示	输入 ON 时 LED 灯亮	

表 4-3　FX 系列 PLC 输出技术指标

项　目		继电器输出	晶闸管输出（FX2N）	晶体管输出
外部电源		最大 24V AC 或 30V DC	85～242V AC	5～30V DC
最大负载	电阻负载	2A/I 点，8A/COM	0.3A/I 点，0.8A/COM	0.3A/I 点，0.8A/COM
	感性负载	80W，120/240V AC	36W/240V AC	12W/24V DC
	灯负载	100W	30W	0.9W/DC24V（FX_{1s}）
最小负载		电压<5V DC 时 2mA 电压<24V DC 时 5mA （FX2N）	2.3W/240V AC	—
响应时间	OFF→ON	10ms	1ms	<0.2ms；< 0.5μs（仅 Y0，Y1） <0.2ms；< 0.5μs（仅 Y0，Y1）
	ON→OFF	10ms	10ms	
开路漏电流		—	24mA/240V AC	0.1mA/30V DC
电路隔离		继电器隔离	光电晶闸管隔离	光耦器隔离
输出动作显示		线圈通电时 LED 灯亮		

4.2.4　FX1S和FX1N系列PLC

FX1S 系列 PLC 是用于极小规模系统的超小型 PLC，可降低成本。该系列有 16 种基本单元，10～30 个 I/O 点，用户存储器（EEPROM）容量为 2 000 步。FX1S 可使用一块 I/O 点扩展板、串行通信扩展板或模拟量扩展板，可同时安装显示模块和扩展板，有两个内置的设置参数用的小电位器。一个单元可同时输出 2 点 100kHz 的高速脉冲，有 7 条特殊的定位指令。

FX1S 系列通过通信扩展板可实现多种通信和数据链接，如 RS-232C、RS-422 和 RS-485 通信，N:N 链接、并行链接和计算机链接。

FX1N 系列 PLC 有 13 种基本单元（如表 4-4 所示），可组成 14～128 个 I/O 点的系统，并能使用特殊功能模块、显示模块和扩展板。用户存储器容量为 8 000 步，有内置的实时钟。

表 4-4　FX1N 系列基本单元

AC 电源，24V 直流输入		DC 电源，24V 直流输入		输入点数	输出点数
继电器输出	晶体管输出	继电器输出	晶体管输出		
FX1N-14MR-001	—	—	—	8	6
FX1N-24MR-001	FX1N-24MT	FX1N-24MR-D	FX1N-24MT-D	14	10
FX1N-40MR-001	FX1N-40MT	FX1N-40MR-D	FX1N-40MT-D	24	16
FX1N-60MR-001	FX1N-60MT	FX1N-60MR-D	FX1N-60MT-D	36	24

PID 指令可实现模拟量闭环控制，一个单元可同时输出 2 点 100kHz 的高速脉冲，有 7 条特殊的定位指令，有两个内置的设置参数用的小电位器。

FX1N 系列通过通信扩展板或特殊适配器可实现多种通信和数据链接，如 CC-Link，AS-i 网络，RS-232C、RS-422 和 RS-485 通信，N:N 链接、并行链接、计算机链接和 I/O 链接。

4.2.5　FX2N系列PLC

FX2N 是 FX 系列中功能最强、速度最快的微型 PLC。它的基本指令执行时间达 0.08μs 每条指令，内置的用户存储器为 8K 步，可扩展到 16K 步，最大可扩展到 256 个 I/O 点，有

多种特殊功能模块或功能扩展板，可实现多轴定位控制。机内有实时钟，PID 指令可实现模拟量闭环控制。有功能很强的数学指令集，如浮点数运算、开平方和三角函数等。有多个基本单元（如表 4-5 所示），每个 FX2N 基本单元可扩展 8 个特殊单元。

表 4-5　FX2N 系列基本单元

AC 电源，24V 直流输入		DC 电源，24V 直流输入		输入点数	输出点数
继电器输出	晶体管输出	继电器输出	晶体管输出		
FX2N-16MR-001	FX2N-16MT	—	—	8	8
FX2N-32MR-001	FX2N-32MT	FX2N-32MR-T	FX2N-32MT-D	16	16
FX2N-48MR-001	FX2N-48MT	FX2N-48MR-T	FX2N-48MT-D	24	24
FX2N-64MR-001	FX2N-64MT	FX2N-64MR-T	FX2N-64MT-D	32	32
FX2N-80MR-001	FX2N-80MT	FX2N-80MR-T	FX2N-80MT-D	40	40
FX2N-128MR-001	FX2N-128MT	—	—	64	64

FX2N 系列通过通信扩展板或特殊适配器可实现多种通信和数据链接，如 CC-Link，AS-i，Profibus，DeviceNet 等开放式网络通信，RS-232C、RS-422 和 RS-485 通信，N:N 链接、并行链接、计算机链接和 I/O 链接。

FX1N 和 FX2N 系列 PLC 带电源的 I/O 扩展单元如表 4-6 所示。

表 4-6　FX1N 和 FX2N 系列 PLC 带电源的 I/O 扩展单元

AC 电源，24V 直流输入		DC 电源，24V 直流输入		输入点数	输出点数	还可连接的 PLC
继电器输出	晶体管输出	继电器输出	晶体管输出			
FX2N-32ER	FX2N-32ET	—	—	16	16	FX1N FX2N
FX1N-40ER	FX1N-40ET	FX1N-40ER-D	—	24	16	FX1N
FX2N-48ER	FX2N-48ET	—	—	24	24	FX1N FX2N
—	—	FX2N-48ER-D	FX2N 48ET-D	24	24	FX2N

表 4-7 中的扩展模块可用于 FX1N、FX2N 和 FX2NC。此外，输入扩展板 FX1N-4EX-BD 有 4 点 24V DC 输入，输出扩展板 FX1N-2EYT-BD 有 2 点晶体管输出，可用于 FX1S 和 FX1N。

表 4-7　FX1N 和 FX2N 系列的 I/O 模块

输入模块	继电器输出模块	晶体管输出模块	输入点数	输出点数
FX1N-8ER		—	4	4
FX1N-8EX	—	—	8	—
FX1N-16EX	—	—	16	—
FX2N-16EX	—	—	16	—
—	FX1N-8EXR	FX1N-8EYT	—	18
—	FX1N-16EXR	FX1N-16EYT	—	16
—	FX2N-16EXR	FX2N-16EYT	—	16

FX2NC 具有很高的性能体积比和通信功能，可安装到比标准的 PLC 小很多的空间内。I/O 型连接器可降低接线成本，节约接线时间。I/O 点数可扩展到 256 点，可选用实时时钟，最多可连接 4 个特殊功能模块。利用内置的功能，可控制两轴（包括插补功能），通过

增加扩展单元可控制多轴。

FX2NC 系列通过通信扩展板或特殊适配器可实现多种通信和数据链接，如 CC-Link，Profibus，DeviceNet 开放式网络通信，RS-232C 和 RS-485 通信，N:N 链接、并行链接、计算机链接和 I/O 链接。FX2NC 系列的基本单元如表 4-8 所示，它也可以使用 FX1N 和 FX2N 的扩展模块。

表 4-8　FX2NC 系列基本单元

DC 电源，24V 直流输入		输入点数	输出点数
继电器输出	晶体管输出		
FX2NC-16MR-T	FX2NC-16MT	8	8
—	FX2NC-32MT	16	16
—	FX2NC-64MT	32	32
—	FX2NC-96MT	48	48

表 4-9　FX2NC 系列的扩展模块

DC 电源，24V 直流输入		输出模块		
输入模块	输入点数	输出模块	输出点数	备注
FX2NC-16EX-T	16	FX2NC-16EYR-T	16	继电器型
FX2NC-16EX	16	FX2NC-16EYT	16	晶体管型
FX2NC-32EX	32	FX2NC-32EYT	32	晶体管型

4.2.6　编程设备与人机接口

编程器用来生成用户程序，并对它进行编辑、检查和修改。某些编程器还可以将用户程序写入 EPROM 或 EEPROM 中，许多编程器还可以用来监视系统运行的情况。

1．专用编程器

专用编程器由 PLC 生产厂家提供，它只能用于某一生产厂家的某些 PLC 产品。现在的专用编程器一般都是手持式的 LCD 字符显示编程器，它不能直接输入和编辑梯形图程序，只能输入和编辑指令表程序。

手持式编程器的体积小，一般用电缆与 PLC 相连。其价格便宜，常用来给小型 PLC 编程，用于系统的现场调试和维修比较方便。

FX 系列 PLC 的手持式编程器 FX-10P-E 和 FX-20P-E 体积小、质量轻、价格便宜、功能强，采用液晶显示器，分别显示 2 行和 4 行字符。手持式编程器可用指令表的形式读出、写入、插入和删除指令，可监视位编程元件的 ON/OFF 状态和字编程元件中的数据，如定时器、计数器的当前值和设定值，数据寄存器的值及 PLC 内部的其他信息。

用户可对 FX-20P-E 内置的存储器进行存取，实现脱机编程，根据编程器中电容的充电时间，存储器中的内容最多可以保存 3 天。

2．编程软件

专用编程器只能对某一 PLC 生产厂家的 PLC 产品编程，使用范围有限。目前 PLC 的更新换代很快，专用编程器的使用寿命有限，价格也较高。现在的趋势是在个人计算机上使用 PLC 生产厂家提供的编程软件。轻便的笔记本电脑配上编程软件，也很适合在现场调试程序。

这种方法的主要优点是用户可以使用现有的个人计算机，对不同厂家和型号的 PLC，

只要更换编程软件就可以了。个人计算机可以为所有的工业智能控制设备（如图形操作终端、组态软件和数控设备等）编程。大多数 PLC 厂家都向用户提供免费使用的演示版编程软件，正版编程软件的价格也在不断降低，因此用很少的投资就可以得到高性能的 PLC 程序开发系统。

下面介绍的三菱电动机的编程软件和模拟软件均在 Windows 操作系统中使用，通过调制解调器可实现远程监控与编程。

（1）FX-FCS/WIN-E/-C 编程软件

该软件包专门用于 FX 系列 PLC 程序的开发，可用梯形图、指令表和顺序功能图（SFC）编程。

（2）SWOPC-FXGP/WIN-C 编程软件

SWOPC-FXGP/WIN-C 是专为 FX 系列 PLC 设计的编程软件，其界面和帮助文件均已汉化，它占用的存储空间少，功能较强，在 Windows 操作系统中运行。

（3）GX 开发器（GPPW）

GX 开发器（GPPW）可用于开发三菱电动机所有 PLC 的程序，可用梯形图、指令表和顺序功能图（SFC）编程。

（4）GX 模拟器（LLT）

GX 模拟器（LLT）与 GPPW 配套使用，可以在个人计算机中模拟三菱 PLC 的编程，在将程序下载到实际的 PLC 之前，对虚拟的 PLC 进行监控和调试；可用梯形图、指令表和顺序功能图（SFC）编程。

（5）FX-FCS-VPS/WIN-E 定位编程软件

该软件可用流程图、通用代码或功能模块编程，最多可生成 500 个流程图画面，在监控屏幕上可显示数据的值、运动轨迹和操作过程。用户可通过屏幕快速和直观地理解程序，在屏幕上通过一个窗口可显示和设置所有的模块参数。

（6）GT 设计者与 FX-FCS/DU-WIN-E 屏幕生成软件

这两种软件用于 GT（图形终端）的画面设计，具有对用户友好的编程界面，可实现多窗口之间的剪切和粘贴，可以为 DU 系列的所有显示模块生成画面，有位图图形库。

3．显示模块

随着工厂自动化的发展，微型 PLC 的控制越来越复杂和高级，FX 系列 PLC 配备有种类繁多的显示模块和图形操作终端作为人机接口。

显示模块 FX1N-5DM 有 4 个键和带背光的 LED 显示器，直接安装在 FX1S 和 FX1N 上，无须接线。它能显示以下内容：

（1）PLC 中各种位编程元件的 ON/OFF 状态；

（2）定时器（T）和计数器（C）的当前值或设定值；

（3）数据寄存器（D）的当前值；

（4）FX1N 的特殊单元和特殊模块中的缓冲寄存器；

（5）PLC 出现错误时，可显示错误代码；

（6）显示时钟的当前值，并能设置日期和时间。

FX1N-5DM 可将位编程元件 Y，M，S 强制设置为 ON 或 OFF 状态，可改变 T、C 和 D 的当前值，以及 T 和 C 的设定值，可指定设备的监控功能。显示模块 FX-10DM-E 可安装在面板上，用电缆与 PLC 相连，有 5 个键和带背光的 LED 显示器，可显示两行数据，每行 16 个字符，可用于各种型号的 FX 系列 PLC；可监视和修改 T、C 的当前值和设定值，监视

和修改 D 的当前值。

4.2.7　GOT-900 图形操作终端

GOT-900 系列图形操作终端的电源电压为 24V DC，可用 RS-232C 或 RS-485 接口与 PLC 通信，有 50 个触摸键，可设置 500 个画面。

930GOT 图形操作终端带有 4in 对角线的 LCD 显示器，可显示 240×80 点或 5 行，每行 30 个字符，有 256KB 用户快闪存储器。

940GOT 图形操作终端有 5.7in 对角线的 8 色 LCD 显示器，可显示 320×240 点或 15 行，每行 40 个字符，有 512KB 用户快闪存储器。

F940GOT-SBD-H-E 和 F940GOT-LBD-H-E 手持式图形操作终端有 8 色和黑白 LED 显示器，适用于现场的调试，其他性能和 940GOT 图形操作终端类似。

F940GOT-TWD-C 图形操作终端的 256 色 7in 对角线 LED 显示器可水平或垂直安装，屏幕可分为 2～3 个部分，有一个 RS-422 接口和两个 RS-232C 接口，可显示 480×234 点或 14 行，每行 60 个字符，有 1 MB 用户快闪存储器。

4.3　PLC程序设计基础

4.3.1　PLC编程语言的国际标准

IEC 的 PLC 编程语言标准（IEC6-1131-3）中有 5 种编程语言，如图 4-4 所示。

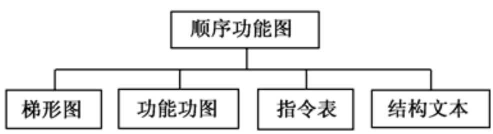


图 4-4　PLC 的编程语言

- 顺序功能图（Sequential Function Chart）
- 梯形图（Ladder Diagram）
- 功能块图（Function Block Diagram）
- 指令表（Instruction List）
- 结构文本（Structured Text）

其中的顺序功能图（SFC）、梯形图（LD）和功能块图（FBD）是图形编程语言，指令表（IL）和结构文本（ST）是文字编程语言。

目前已有越来越多的生产 PLC 的厂家提供符合 IEC61131-3 标准的产品，有的厂家推出的在个人计算机上运行的“软 PLC”软件包也是按 IEC61131-3 标准设计的。

1．顺序功能图（SFC）

这是一种位于其他编程语言之上的图形语言，用来编制顺序控制程序。顺序功能图提供了一种组织程序的图形方法，在顺序功能图中可以用别的语言嵌套编程。步、转换和动作是顺序功能图中的三种主要元件，如图 4-5 所示。顺序功能图用来描述开关量控制系统的功能，根据它可以很容易地画出顺序控制梯形图程序。

2．梯形图（LD）

梯形图是使用最多的 PLC 图形编程语言。梯形图与继电器控制系统的电路图很相似，直观易懂，很容易被工厂熟悉继电器控制的电气人员掌握，特别适用于开关量逻辑控制。图 4-5～图 4-7 为用西门子 S7-200 系列 PLC 的 3 种编程语言来表示同一逻辑关系。西门子的说明书中将指令表称为语句表。

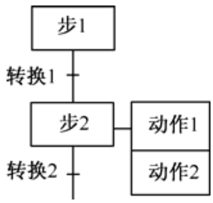


图 4-5　顺序功能图

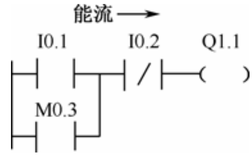
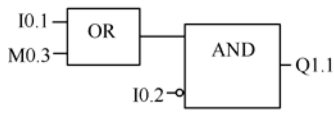


图 4-6　梯形图



LD	I0.1
0	M0.3
AN	I0.2
=	Q1.1

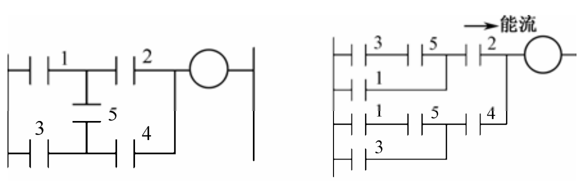
图 4-7　功能块图与语句表

梯形图由触点、线圈和应用指令等组成。触点代表逻辑输入条件，如外部的开关、按钮和内部条件等。线圈通常代表逻辑输出结果，用来控制外部的指示灯、交流接触器和内部的输出标志位等。

在分析梯形图中的逻辑关系时，为了借用继电器电路图的分析方法，可以想象左右两侧垂直母线之间有一个左正右负的直流电源电压（有时省略了右侧的垂直母线）。当图 4-6 中 I0.1 与 I0.2 的触点接通，或 M0.3 与 I0.2 的触点接通时，有一个假想的“能流”（Power Flow）流过 Q1.1 的线圈。利用能流这一概念，可以帮助我们更好地理解和分析梯形图，能流只能从左向右流动。

图 4-8（a）中的电路不能用触点的串、并联来表示，能流可能从两个方向流过触点 5（经过触点 1，5，4 或经过触点 3，5，2），无法将该图转换为指令表，应将它改画为如图 4-8（b）所示的等效电路。

使用编程软件可以直接生成和编辑梯形图，并将它下载到 PLC 中去。



（a）错误的梯形图　（b）改正后的梯形图

图 4-8　梯形图示例

3．功能块图（FBD）

这是一种类似于数字逻辑门电路的编程语言，有数字电路基础的人很容易掌握。该编程语言用类似与门、或门的方框来表示逻辑运算关系，方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量，输入、输出端的小圆圈表示“非”运算，方框被“导线”连接在一起，信号自左向右流动。图 4-7 中的控制逻辑与图 4-6 中的相同。有的微型 PLC 模块（如西门子公司

的“LOGO”逻辑模块）使用功能块图语言，除此之外，国内很少有人使用功能块图语言。

4．指令表（IL）

PLC 的指令是一种与微机汇编语言中的指令相似的助记符表达式，由指令组成的程序叫指令表（Instruction List）程序。指令表程序较难阅读，其中的逻辑关系很难一眼看出，所以在设计时一般使用梯形图语言。如果使用手持式编程器，必须将梯形图转换成指令表后再写入 PLC。在用户程序存储器中，指令按步序号顺序排列。

5．结构文本（ST）

结构文本（ST）是为 IEC61131-3 标准创建的一种专用的高级编程语言。与梯形图相比，它能实现复杂的数学运算，编写的程序非常简捷和紧凑。

除了提供几种编程语言供用户选择外，标准还允许编程者在同一程序中使用多种编程语言，这使编程者能选择不同的语言来适应特殊的工作。

4.3.2　梯形图的主要特点

① PLC 梯形图中的某些编程元件沿用了继电器这一名称，如输入继电器、输出继电器、内部辅助继电器等，但是它们不是真实的物理继电器（即硬件继电器），而是在软件中使用的编程元件。每一编程元件与 PLC 存储器中元件映像寄存器的两个存储单元相对应。以辅助继电器为例，如果该存储单元为 0 状态，梯形图中对应的编程元件的线圈“断电”，其常开触点断开，常闭触点闭合，称该编程元件为 0 状态，或称该编程元件为 OFF（断开）。如果该存储单元为 1 状态，对应编程元件的线圈“通电”，其常开触点接通，常闭触点断开，称该编程元件为 1 状态，或称该编程元件为 ON（接通）。

② 根据梯形图中各触点的状态和逻辑关系，求出与图中各线圈对应的编程元件的 ON/OFF 状态，称为梯形图的逻辑解算。逻辑解算是按梯形图中从上到下、从左至右的顺序进行的。解算的结果，可以立即被后面的逻辑解算所利用。逻辑解算是根据输入映像寄存器中的值，而不是根据解算瞬时外部输入触点的状态进行的。

③ 梯形图中各编程元件的常开触点和常闭触点均可以无限次地使用。

④ 输入继电器的状态唯一地取决于对应的外部输入电路的通断状态，因此在梯形图中不能出现输入继电器的线圈。

4.4　FX系列PLC梯形图中的编程元件

4.4.1　基本数据结构

1．位元件

FX 系列 PLC 有 4 种基本编程元件，为了分辨各种编程元件，给它们分别指定了专用的字母符号。

X：输入继电器，用于直接给 PLC 输入物理信号。

Y：输出继电器，用于从 PLC 直接输出物理信号。

M（辅助继电器）和 S（状态继电器）：PLC 内部的运算标志。

上述各种元件称为“位（bit）元件”，它们只有两种不同的状态，即 ON 和 OFF，可以分别用二进制数 1 和 0 来表示这两种状态。

2．字元件

8 个连续的位组成一个字节（Byte），16 个连续的位组成一个字（Word），32 个连续的位组成一个双字（Double Word）。定时器和计数器的当前值和设定值均为有符号字，最高位（第 15 位）为符号位，正数的符号位为 0，负数的符号位为 1。有符号字可表示的最大正整数为 32 767。

4.4.2　输入继电器与输出继电器

FX 系列 PLC 梯形图中编程元件的名称由字母和数字组成，分别表示元件的类型和元件号，如 Y10，M129。输入继电器与输出继电器的元件号用八进制数表示，八进制数只有 0～7 这 8 个数字符号，遵循“逢 8 进 1”的运算规则。例如，八进制数 X17 和 X20 是两个相邻的整数。表 4-10 给出了 FX2N 系列 PLC 的输入/输出继电器元件号。

表 4-10　FX2N 系列 PLC 的输入/输出继电器元件号

型　号	FX2N-16M	FX2N-32M	FX2N-48M	FX2N-64M	FX2N-80M	FX2N-128M	扩展时
输入	X0～X7 8 点	X0～X17 16 点	X0～X27 24 点	X0～X37 32 点	X0～X47 40 点	X0～X77 64 点	X0～X267 184 点
输出	X0～X7 8 点	X0～X17 16 点	X0～X27 24 点	X0～X37 32 点	X0～X47 40 点	X0～X77 64 点	X0～X267 184 点

1．输入继电器（X）

输入继电器是 PLC 接收外部输入开关量信号的窗口。PLC 通过光耦合器，将外部信号的状态读入并存储在输入映像寄存器中。输入端可以外接常开触点或常闭触点，也可以接多个触点组成的串并联电路或电子传感器（如接近开关）。在梯形图中，可以多次使用输入继电器的常开触点和常闭触点。

图 4-9 是一个 PLC 控制系统的示意图，X0 端子外接的输入电路接通时，其对应的输入映像寄存器为 1 状态，断开时为 0 状态。输入继电器的状态唯一地取决于外部输入信号的状态，不受用户程序的控制，因此在梯形图中绝对不能出现输入继电器的线圈。

由于 PLC 只是在每一扫描周期开始时读取输入信号，输入信号为 ON 或 OFF 的持续时间应大于 PLC 的扫描周期。如果不满足这一条件，可能会丢失输入信号。

2．输出继电器（Y）

输出继电器是 PLC 向外部负载发送信号的窗口。输出继电器用来将 PLC 的输出信号传送给输出模块，再由后者驱动外部负载。如果图 4-9 梯形图中 Y4 的线圈“通电”，则继电器型输出模块中对应的硬件继电器的常开触点闭合，使外部负载工作。输出模块中的每一个硬件继电器仅有一对常开触点，但是在梯形图中，每一个输出继电器的常开触点和常闭触点都可以多次使用。

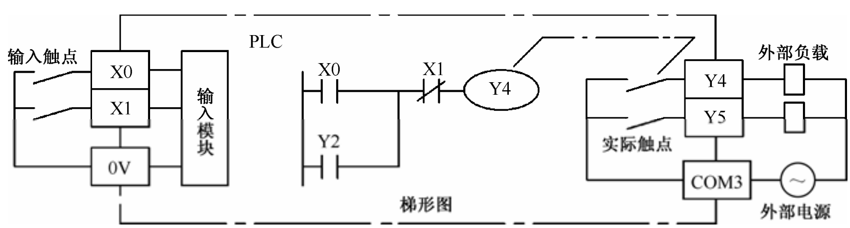


图 4-9　输入继电器与输出继电器

4.4.3　辅助继电器（M）

辅助继电器是用软件实现的，它不能接收外部的输入信号，也不能直接驱动外部负载，是一种内部的状态标志，相当于继电器控制系统中的中间继电器。

1．通用辅助继电器

如表 4-11 所示，FX 系列 PLC 的通用辅助继电器没有断电保持功能。在 FX 系列 PLC 中，除了输入继电器和输出继电器的元件号采用八进制外，其他编程元件的元件号均采用十进制。

表 4-11　FX 系列 PLC 的通用辅助继电器

PLC	FX1S	FX1N	FX2N / FX2NC
通用辅助继电器	384（M0～383）	384（M0～383）	500（M0～499）
电池后备/锁存辅助继电器	128（M384～511）	1152（M384～1535）	2572（M500～3071）
总计	512	1536	3072

如果在 PLC 运行时电源突然中断，输出继电器和通用辅助继电器将全部变为 OFF。若电源再次接通，除了因外部输入信号而变为 ON 的以外，其余的仍将保持为 OFF 状态。

2．电池后备/锁存辅助继电器

某些控制系统要求记忆电源中断瞬时的状态，重新通电后再现其状态，电池后备/锁存辅助继电器用于这种场合。在电源中断时用锂电池保持 RAM 中映像寄存器的内容，或将其保存在 EEPROM 中。它们只是在 PLC 重新通电后的第一个扫描周期保持断电瞬时的状态。为了利用它们的断电记忆功能，可以采用有记忆功能的电路。设图 4-10 中 X0 和 X1 分别是启动按钮和停止按钮，M500 通过 Y0 控制外部的电动机，如果电源中断时 M500 为 1 状态，由于电路的记忆作用，重新通电后 M500 将保持为 1 状态，使 Y0 继续为 ON，电动机重新开始运行。

3．特殊辅助继电器

特殊辅助继电器共 256 点，它用来表示 PLC 的某些状态，提供时钟脉冲和标志（如进位、借位标志），设定 PLC 的运行方式，或者用于步进顺控、禁止中断、设定计数器是加计数还是减计数等。特殊辅助继电器分为以下两类。

（1）触点利用型

触点利用型特殊辅助继电器由 PLC 的系统程序驱动继电器线圈，在用户程序中直接使用其触点，但是不能出现它们的线圈，下面是几个例子。

M8000（运行监视）：当 PLC 执行用户程序时，M8000 为 ON；停止执行时，M8000 为 OFF（见图 4-11）。

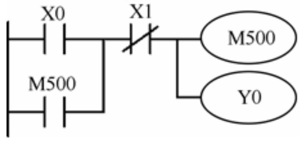


图 4-10　断电保持功能

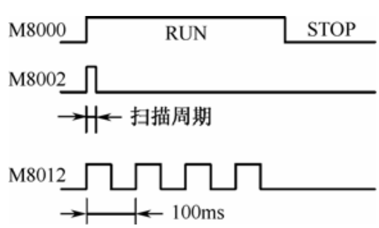


图 4-11　波形图

M8002（初始化脉冲）：M8002 仅在 M8000 由 OFF 变为 ON 状态的一个扫描周期内为 ON（见图 4-11），可以用 M8002 的常开触点来使有断电保持功能的元件初始化复位或给它们置初始值。

M8011～M8014 分别是 10ms，100ms，1s 和 1min 时钟脉冲。

M8005（锂电池电压降低）：电池电压下降至规定值时变为 ON，可以用它的触点驱动输出继电器和外部指示灯，提醒工作人员更换锂电池。

（2）线圈驱动型

线圈驱动型特殊辅助继电器由用户程序驱动其线圈，使 PLC 执行特定的操作，用户并不使用它们的触点。例如：

M8030 的线圈“通电”后，“电池电压降低”发光二极管熄灭；

M8033 的线圈“通电”时，PLC 进入 STOP 状态后，所有输出继电器的状态保持不变；

M8034 的线圈“通电”时，禁止所有的输出；

M8039 的线圈“通电”时，PLC 以 D8039 中指定的扫描时间工作。

4.4.4 状态继电器（S）

1．状态继电器简介

状态继电器是用于编制顺序控制程序的一种编程元件（状态标志），它与后面介绍的 STL 指令（步进梯形指令）一起使用。

通用状态继电器没有断电保持功能，在使用 IST（初始化状态功能）指令时，其中的 S0～S9 供初始状态使用。

电池后备/锁存状态继电器在断电时用带锂电池的 RAM 或 EEPROM 保存其 ON/OFF 状态。

2．状态继电器使用举例

某机械手先后有下降、夹紧等动作，其顺序功能图如图 4-12 所示。如果启动信号 X0 为 ON，则状态继电器 S20 被置位（变为 ON），控制下降的电磁阀 Y0 动作。下限位开关 X1 为 ON 时，状态继电器 S21 被置位，控制夹紧的电磁阀 Y1 动作。随着动作的转移，前一状态继电器自动变为 OFF 状态。不对状态继电器使用步进梯形指令时，可以把它们当做普通的辅助继电器（M）使用。

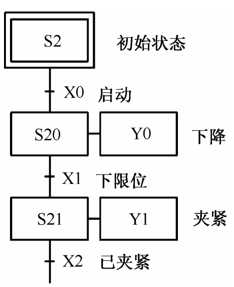


图 4-12　顺序功能图

3．信号报警器标志（Annunciator Flags）

在使用应用指令 ANS（信号报警器置位）和 ANR（信号报警器复位）时，状态继电器 S900～S999 可用做外部故障诊断的输出，称为信号报警器。

4.4.5 定时器（T）

PLC 中的定时器相当于继电器系统中的时间继电器。它有一个设定值寄存器（一个字长）、一个当前值寄存器（一个字长）和一个用来储存其输出触点状态的映像寄存器（占二进制的一位），这 3 个存储单元使用同一个元件号。FX 系列 PLC 的定时器分为通用定时器和积算定时器。

常数 K 可以作为定时器的设定值，也可以用数据寄存器（D）的内容来设置定时器。例如，外部数字开关输入的数据可以存入数据寄存器，作为定时器的设定值。通常使用有电池后备的数据寄存器，这样在断电时不会丢失数据。

1．通用定时器

各系列的定时器个数和元件编号如表 4-12 所示。100ms 定时器的定时范围为 0.1～3 276.7s，10ms 定时器的定时范围为 0.01～327.67s。FX1S 的特殊辅助继电器 M8028 为 1 状态时，T32～T62（31 点）被定义为 10ms 定时器。图 4-13 中 X0 的常开触点接通时，T200 的当前值计数器从 0 开始，对 10ms 时钟脉冲进行累加计数。当前值等于设定值 414 时，定时器的常开触点接通，常闭触点断开，即 T200 的输出触点在其线圈被驱动 10ms×414=4.14s 后动作。X0 的常开触点断开后，定时器被复位，其常开触点断开，常闭触点接通，当前值恢复为 0。

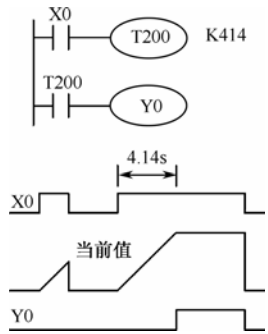


图 4-13　定时器使用示例

表 4-12　各系列定时器个数和元件编号

PLC	FX1S	FX1N，FX2N/FX2NC
100ms 定时器	63（T0～T62）	200（T0～T199）
10ms 定时器	31（T32～T62）	46（T200～T245）
1ms 定时器	1（T63）	—
1ms 积算定时器	—	4（T246～T249）
100ms 积算定时器	—	6（T250～T255）

如果需要在定时器的线圈“通电”时就动作的瞬动触点，可以在定时器线圈两端并联一个辅助继电器的线圈，并使用其触点。

通用定时器没有保持功能，在输入电路断开或停电时被复位。FX 系列的定时器只能提供其线圈“通电”后延迟动作的触点，如果需要在输入信号变为 OFF 之后的延迟动作，可以使用图 4-14 所示的电路。

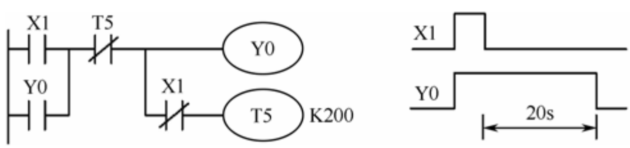


图 4-14　输入电路断开后延时的电路

2．积算定时器

100ms 积算定时器 T250～T255 的定时范围为 0.1～3 276.7s。X1 的常开触点接通时（见图 4-15），T250 的当前值计数器对 100ms 时钟脉冲进行累加计数。X1 的常开触点断开或停电时停止定时，当前值保持不变。X1 的常开触点再次接通或重新上电时继续定时，累计时间（t_1+t_2）为 1 055×100ms=105.5s 时，T250 的触点动作。因为积算定时器的线圈断电时不会复位，故需要用 X2 的常开触点使 T250 强制复位。

3．使用定时器的注意事项

如果在子程序或中断程序中使用 T192～T199 和 T246～T249，应在执行 END 指令时修

改定时器的当前值。当定时器的当前值等于设定值时，其输出触点在执行定时器线圈指令或 END 指令时动作。如果使用的不是上述定时器，在特殊情况下，定时器的工作可能不正常。如果 1ms 定时器用于中断程序和子程序，在它的当前值达到设定值后，其触点在执行该定时器的第一条线圈指令时动作。

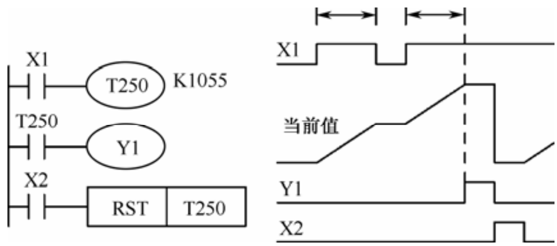


图 4-15　积算定时器

4．定时器的定时精度

定时器的精度与程序的安排有关。如果定时器的触点在线圈之前，精度将会降低，平均误差约为 1.5 倍扫描周期。最小定时误差为输入滤波器时间减去定时器的分辨率，1ms，10ms 和 100ms 定时器的分辨率分别为 1ms，10ms 和 100ms。

如果定时器的触点在线圈之后，最大定时误差为 2 倍扫描周期加上输入滤波器时间。

4.4.6　内部计数器（C）

内部计数器用来对 PLC 的内部映像寄存器（X，Y，M，S）提供信号计数，计数脉冲为 ON 或 OFF 的持续时间，应大于 PLC 的扫描周期，其响应速度通常小于数十赫兹。表 4-13 给出了 FX1S、FX1N、FX2N / FX2NC 内部计数器的位数及寄存器。

表 4-13　FX 系列 PLC 内部计数器的位数及寄存器

PLC	FX1S	FX1N	FX2N / FX2NC
16 位通用计数器	16（C0～C62）	16（C0～C15）	100（C0～C99）
16 位电池后备/锁存计数器	16（C32～C62）	184（C16～C199）	100（C100～C199）
32 位通用双向计数器	—	20（C200～C219）	
32 位电池后备/锁存计数器	—	15（C220～C234）	

1．16 位加计数器

16 位加计数器的设定值为 1～32 767。图 4-16 给出了 16 位加计数器的工作过程，图中 X10 的常开触点接通后，C0 被复位，它对应的位存储单元被置 0，它的常开触点断开，常闭触点接通，同时其计数当前值被置为 0。X11 用来提供计数输入信号，当计数器的复位输入电路断开，计数输入电路由断开变为接通（即计数脉冲的上升沿）时，计数器的当前值加 1。在 5 个计数脉冲之后，C0 的当前值等于设定值 5，它对应的位存储单元的内容被置 1，其常开触点接通，常闭触点断开。再来计数脉冲时当前值不变，直到复位输入电路接通，计数器的当前值被置为 0。计数器也可以通过数据寄存器来指定设定值。具有电池后备/锁存功能的计数器在电源断电时可保持其状态信息，重新送电后能立即按断电时的状态恢复工作。

2．32 位双向计数器

32 位双向计数器 C200～C234 的设定值为–2 147 483 648～+2 147 483 647，其加/减计数

方式由特殊辅助继电器 M8200～M8234 设定，对应的特殊辅助继电器为 ON 时，为减计数，反之为加计数。

32 位计数器的设定值除了可由常数 K 设定外，还可以通过指定数据寄存器来设定，32 位设定值存放在元件号相连的两个数据寄存器中。如果指定的是 D0，则设定值存放在 D1 和 D0 中。图 4-17 中 C200 的设定值为 5，在加计数时，若计数器的当前值由 4→5，计数器的输出触点为 ON，当前值≥5 时，输出触点仍为 ON；当前值由 5→4 时，输出触点为 OFF，当前值≤4 时，输出触点仍为 OFF。

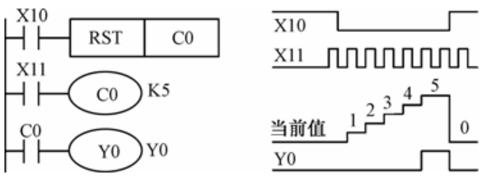


图 4-16　16 位加计数器

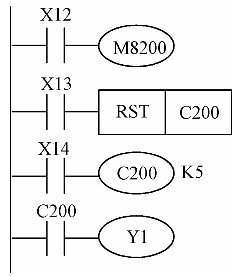


图 4-17　32 位双向计数器

计数器的当前值在最大值 2 147 483 647 时加 1，将变为最小值−2 147 483 648，类似地，当前值为−2 147 483 648 减 1 时，将变为最大值 2 147 483 647，这种计数器称为环形计数器。

图 4-17 中复位输入 X13 的常开触点接通时，C200 被复位，其常开触点断开，常闭触点接通，当前值被置位。如果使用电池后备/锁存计数器，在电源中断时，计数器停止计数，并保持计数当前值不变，电源再次接通后在当前值的基础上继续计数，因此电池后备/锁存计数器可累计计数。

4.4.7　高速计数器（HSC）

1．高速计数器概述

21 点高速计数器 C235～C255 共用 PLC 的 8 个高速计数器输入端 X000～X007，某一输入端同时只能供一个高速计数器使用。这 21 个计数器均为 32 位加/减计数器（见表 4-14）。不同类型的高速计数器可以同时使用，但是它们的计数器输入不能冲突。

高速计数器的运行建立在中断的基础上，这意味着事件的触发与扫描时间无关。在对外部高速脉冲计数时，梯形图中高速计数器的线圈应一直通电，以表示与它有关的输入点已被使用，其他高速计数器的处理不能与它冲突。可用运行时一直为 ON 的 M8000 的常开触点来驱动高速计数器的线圈。如在图 4-18 中，当 X14 为 ON 时，选择了高速计数器 C235，从表 4-14 中可知，C235 的计数输入端是 X000，但是它并不在程序中出现，计数信号不是 X14 提供的。

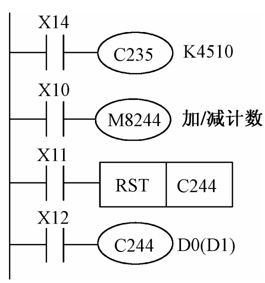


图 4-18　一相高速计数器

表 4-14 给出了各高速计数器对应的输入端子的元件号，表中的 U、D 分别为加、减计数输入，A、B 分别为 A、B 相输入，R 为复位输入，S 为置位输入。

表 4-14　高速计数器简表

中断输入	无启动/复位的一相计数器						指定启动/复位的一相计数器				
	C235	C236	C237	C238	C239	C240	C241	C242	C243	C244	C245
X000	U/D						U/D			U/D	
X001		U/D					R			R	
X002			U/D					U/D			U/D
X003				U/D				R			R
X004					U/D				U/D		
X005						U/D			R		
X006										S	
X007											S

中断输入	两相双向计数器					A/B 相计数器				
	C246	C247	C248	C249	C250	C251	C252	C253	C254	C255
X000	U	U		U		A	A		A	
X001	D	D		D		B	B		B	
X002		R		R			R		R	
X003			U		U			A		A
X004			D		D			B		B
X005			R		R			R		R
X006				S					S	
X007				S						S

2．一相高速计数器

C235～C240 为一相无启动/复位输入端的高速计数器，C241～C245 为一相带启动/复位端的高速计数器，可用 M8235～M8245 来设置 C235～C245 的计数方向，M 为 ON 时为减计数，M 为 OFF 时为加计数。C235～C240 只能用 RST 指令来复位。

图 4-18 中的 C244 是单相带启动/复位端的高速计数器，由表 4-14 可知，X1 和 X6 分别为复位输入端和启动输入端，它们的复位和启动与扫描工作方式无关，其作用分别是立即的和直接的。如果 X12 为 ON，一旦 X6 变为 ON，立即开始计数，计数输入端为 X0。X6 变为 OFF，立即停止计数，C244 的设定值由 D0 和 D1 指定。除了用 X1 来立即复位外，也可以在梯形图中用复位指令复位。

3．两相双向计数器

两相双向计数器（C246～C250）有一个加计数输入端和一个减计数输入端，如 C246 的加、减计数输入端分别是 X0 和 X1。计数器的线圈通电时，在 X0 的上升沿，计数器的当前值加 1，在 X1 的上升沿，计数器的当前值减 1。某些计数器还有复位和启动输入端。

4．A/B相型双计数输入高速计数器

C251～C255 为 A/B 相型双计数输入高速计数器，它们有两个计数输入端，某些计数器还有复位和启动输入端。

图 4-19 中的 X12 为 ON 时，C251 通过中断对 X0 输入的 A 相信号和 X1 输入的 B 相信号的动作计数。X11 为 ON 时 C251 被复位，当计数值大于等于设定值时，Y2 的线圈通电，若计数值小于设定值，Y2 的线圈断电。

A/B 相输入不仅提供计数信号，根据它们的相对相位关系，还提供了计数的方向。利用旋转轴上安装的 A/B 相型编码器，在机械正转时自动进行加计数，反转时自动进行减计数。A 相输入为 ON 时，若 B 相输入由 OFF 变为 ON，为加计数，如图 4-19（b）所示；A 相输入为 ON 时，若 B 相输入由 ON 变为 OFF，为减计数，如图 4-19（c）所示。通过 M8251 可监视 C251 的加/减计数状态，加计数时 M8251 为 OFF，减计数时 M8251 为 ON。

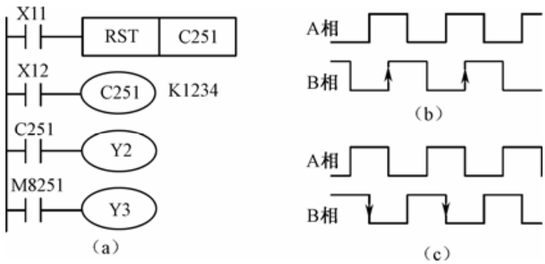


图 4-19　两相高速计数器

5．高速计数器的计数速度

一般的计数频率：单相和双向计数器最高为 10kHz，A/B 相计数器最高为 5kHz。最高的总计数频率：FX1S 和 FX1N 为 60kHz，FX2N 和 FX2NC 为 20kHz，计算总计数频率时 A/B 相计数器的频率应加倍。FX2N 和 FX2NC 的 X0 和 X1 因为具有特殊的硬件，供单相或双相计数时（C235，C236 或 C246）最高为 60kHz，用 C251 两相计数时最高为 30kHz。

应用指令 SPD（速度检测，FUC56）具有高速计数器和输入中断的特性，X0～X5 可能被 SPD 指令使用，SPD 指令使用的输入点不能与高速计数器和中断使用的输入点冲突。在计算高速计数器总的计数频率时，应将 SPD 指令视为一相高速计数器。

4.4.8　数据寄存器

1．通用数据寄存器

数据寄存器（D）在模拟量检测与控制及位置控制等场合用来储存数据和参数。数据寄存器可储存 16 位二进制数或一个字，两个数据寄存器合并起来可以存放 32 位数据（双字），在 D0 和 D1 组成的双字中，D0 存放低 16 位，D1 存放高 16 位。字或双字的最高位为符号位，该位为 0 时数据为正，为 1 时数据为负，数据寄存器的位数如表 4-15 所示。

表 4-15　数据寄存器的位数

PLC	FX1S	FX1N	FX2N / FX2NC
通用寄存器	128（D0～D127）	128（D0～D127）	200（D0～D199）
电池后备/锁存寄存器	128（D128～D255）	7872（D128～D7999）	7800（D200～D7999）
特殊寄存器	256（D8000～D8255）	256（D8000～D8255）	256（D8000～D8255）
文件寄存器 R	—	7000（D1000～D7999）	7000（D1000～D7999）
外部调节寄存器 F	2（D8030～D8031）	2（D8030～D8031）	—

将数据写入通用数据寄存器后，其值保持不变，直到下一次被改写。PLC 从 RUN 状态进入 STOP 状态时，所有的通用数据寄存器的值被改写为 0。

如果特殊辅助继电器 M8033 为 ON，PLC 从 RUN 状态进入 STOP 状态时，通用数据寄

存器的值保持不变。

2．电池后备/锁存数据寄存器

电池后备/锁存数据寄存器有断电保持功能，PLC 从 RUN 状态进入 STOP 状态时，电池后备寄存器的值保持不变。利用参数设定，可改变电池后备数据寄存器的范围。

3．特殊寄存器D8000～D8255

特殊寄存器 D8000～D8255 共 256 点，用来控制和监视 PLC 内部的各种工作方式和元件，如电池电压、扫描时间、正在动作的状态编号等。PLC 上电时，这些数据寄存器被写入默认的值。

4．文件寄存器

文件寄存器以 500 点为单位，可被外部设备存取。文件寄存器实际上被设置为 PLC 的参数区。文件寄存器与锁存寄存器是重叠的，可保证数据不会丢失。

FX1S 的文件寄存器只能用外部设备（如手持式编程器或运行编程软件的计算机）改写，其他系列的文件寄存器可通过 BMOV（块传送）指令改写。

5．外部调整寄存器

FX1S 和 FX1N 有两个内置的设置参数用的小电位器（见图 4-20），用小旋钮调节电位器，可以改变指定数据寄存器 D8030 或 D8031 的值（0～255）。FX2N 和 FX2NC 没有内置的供设置用的电位器，但是可用附加的特殊功能扩展板——FX2N-8AV-BD 实现同样的功能，单元上有 8 个小电位器，使用应用指令 VRRD（模拟量读取）和 VRSC（模拟量开关设置）读取电位器提供的数据。设置用的小电位器常用来修改定时器的时间设定值。

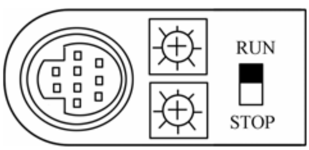


图 4-20　设置参数的小电位器

6．变址寄存器

FX1S 和 FX1N 有两个变址寄存器 V 和 Z，FX2N 和 FX2NC 有 16 个变址寄存器 V0～V7 和 Z0～Z7，在 32 位操作时将 V、Z 合并使用，Z 为低位。变址寄存器用来改变编程元件的元件号，例如，当 V=12 时，数据寄存器的元件号 D6V 相当于 D18（12+6=18）。通过修改变址寄存器的值，可以改变实际的操作数。变址寄存器也可以用来修改常数的值，如当 Z=21 时，K48Z 相当于常数 69（21+48=69）。

4.4.9　指针P/I

指针（P/I）包括分支和子程序用的指针（P）与中断用的指针（I）。在梯形图中，指针放在左侧母线的左边。具体内容可参见相关说明手册。

4.4.10　常数

常数 K 用来表示十进制常数，16 位常数的范围为−32 768～+32 767，32 位常数的范围为−2 147 483 648～+2 147 483 647。

常数 H 用来表示十六进制常数，十六进制包括 0～9 和 A～F 这 16 个数字，16 位常数的范围为 0～FFFF，32 位常数的范围为 0～FFFFFFFF。

4.5　FX系列PLC的基本逻辑指令

FX 系列 PLC 共有 27 条基本逻辑指令，此外还有一百多条应用指令，仅用基本逻辑指令便可以编制出开关量控制系统的用户程序。

4.5.1　LD，LDI，OUT指令

LD（Load）：电路开始的常开触点对应的指令，可以用于 X、Y、M、T、C 和 S。

LDI（Load Inverse）：电路开始的常闭触点对应的指令，可以用于 X、Y、M、T、C 和 S。

OUT（Out）：驱动线圈的输出指令，可以用于 Y、M、T、C 和 S。

LD 与 LDI 指令对应的触点一般与左侧母线相连，在使用 ANB、ORB 指令时，用来定义与其他电路串并联的电路的起始触点。

OUT 指令不能用于输入继电器 X，线圈和输出类指令应放在梯形图的最右边。

OUT 指令可以连续使用若干次，相当于线圈的并联（见图 4-21）。定时器和计数器的 OUT 指令之后应设置以字母 K 开始的十进制常数，常数占一个步序。定时器实际的定时时间与定时器的种类有关，图中的 T0 是 100ms 定时器，K19 对应的定时时间为 19×100ms=1.9s。也可以指定数据寄存器的元件号，用它里面的数作为定时器和计数器的设定值。计数器的设定值用来表示计完多少个计数脉冲后计数器的位元件变为 1。

如果使用手持式编程器，输入指令“OUT　T0”后，应按标有 SP（Space）的空格键，再输入设置的时间值常数。定时器和 16 位计数器的设定值范围为 1～32 767，32 位计数器的设定值范围为−2 147 483 648～+2 147 483 647。

4.5.2　触点的串、并联指令

AND（And）：常开触点串联连接指令。

ANI（And Inverse）：常闭触点串联连接指令。

OR（Or）：常开触点并联连接指令。

ORI（Or Inverse）：常闭触点并联连接指令。

串、并联指令可用于 X、Y、M、T、C 和 S。单个触点与左边的电路串联时，使用 AND 和 ANI 指令，串联触点的个数没有限制。在图 4-22 中，“OUT　M101”指令之后通过 T1 的触点去驱动 Y4，称为连续输出。只要按正确的次序设计电路，就可以重复使用连续输出。

串联和并联指令是用来描述单个触点与别的触点或触点组成的电路的连接关系的。虽然 T1 的触点和 Y4 的线圈组成的串联电路与 M101 的线圈是并联关系，但是 T1 的常开触点与左边的电路是串联关系，所以对 T1 的触点应使用串联指令。

应该指出，图 4-22 中 M101 和 Y4 线圈所在的并联支路如果改为图 4-23 中的电路（不推荐），则必须使用后面要讲到的 MPS（进栈）和 MPP（出栈）指令。

OR 和 ORI 用于单个触点与前面电路的并联，并联触点的左端接到该指令所在电路块的起始点（LD 点）上，右端与前一条指令对应触点的右端相连。OR 和 ORI 指令总是将单个触点并联到它前面已经连接好的电路的两端，以图 4-24 中 M110 的常闭触点为例，它前面的 4 条指令已经将 4 个触点串并联为一个整体，因此“ORI　M110”指令对应的常闭触点并联到该电路的两端。

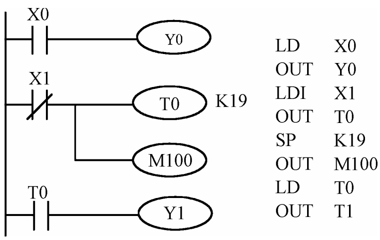


图 4-21　LD、LDI 与 OUT 指令

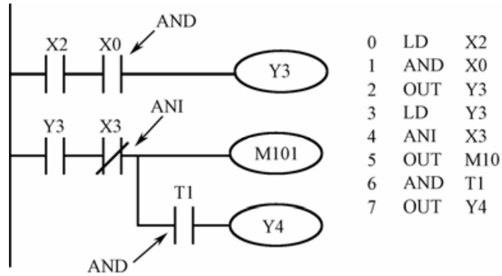


图 4-22　AND 与 ANI 指令

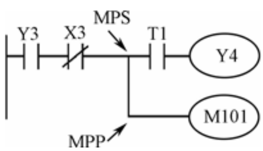


图 4-23　不推荐的电路

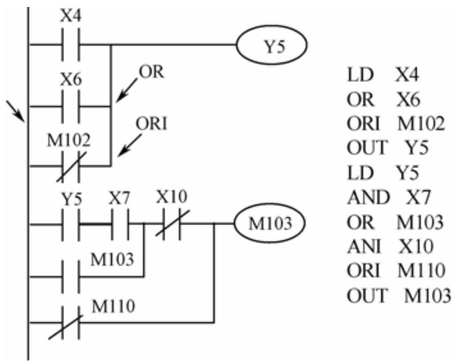


图 4-24　OR 与 ORI 指令

4.5.3　LDP，LDF，ANDP，ANDF，ORP和ORF指令

LDP、ANDP 和 ORP 是用来作上升沿检测的触点指令，触点的中间有一个向上的箭头，对应的触点仅在指定位元件的上升沿（由 OFF 变为 ON）时接通一个扫描周期。

LDF、ANDF 和 ORF 是用来作下降沿检测的触点指令，触点的中间有一个向下的箭头，对应的触点仅在指定位元件的下降沿（由 ON 变为 OFF）时接通一个扫描周期。

上述指令可用于 X、Y、M、T、C 和 S。在图 4-25 中 X2 的上升沿或 X3 的下降沿，Y0 仅在一个扫描周期为 ON。

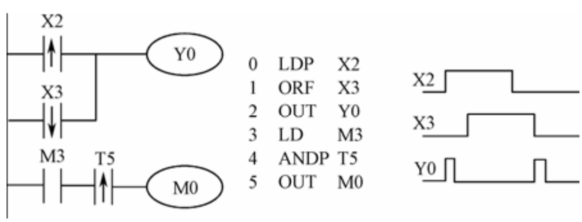


图 4-25　边沿检测触点指令

用手持式编程器输入指令 LDP、ANDP 或 ORP 时，先按 LD、AND 或 OR 键，再按 P/I 键，输入指令 LDF、ANDF 或 ORF 指令时，先按 LD、AND 或 OR 键，再按 F 键。

4.5.4　PLS与PLF指令

PLS（Pulse）：上升沿微分输出指令。

PLF：下降沿微分输出指令。

PLS 和 PLF 指令只能用于输出继电器和辅助继电器（不包括特殊辅助继电器）。图 4-26 中，M0 仅在 X0 的常开触点由断开变为接通（即 X0 的上升沿）时的一个扫描周期内为 ON，M1 仅在 X0 的常开触点由接通变为断开（即 X0 的下降沿）时的一个扫描周期内为 ON。

当 PLC 从 RUN 到 STOP，然后又由 STOP 进入 RUN 状态时，其输入信号仍然为 ON，“PLS　M0”指令将输出一个脉冲。然而，如果用电池后备（锁存）的辅助继电器代替 M0，其 PLS 指令在这种情况下不会输出脉冲。

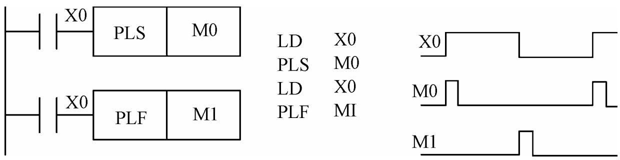


图 4-26　脉冲输出指令

4.5.5　电路块的串、并联指令

ORB（Or Block）：多触点电路块的并联连接指令，如图 4-27 所示为 ORB 指令应用实例。

ANB（And Block）：多触点电路块的串联连接指令，如图 4-28 所示为 ANB 指令应用实例。

ORB 指令将多触点电路块（一般是串联电路块）与前面的电路块并联，它不带元件号，相当于电路块间右侧的一段垂直连线。要并联电路块的起始触点使用 LD 或 LDI 指令，完成电路块的内部连接后，用 ORB 指令将它与前面的电路并联。

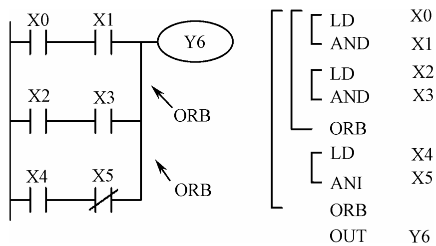


图 4-27　ORB 指令

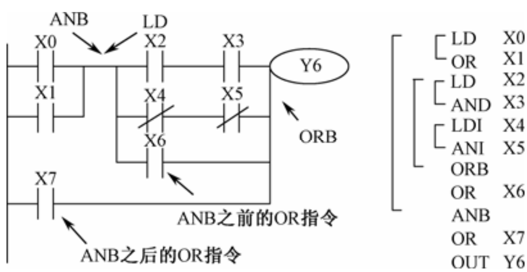


图 4-28　ANB 指令

ANB 指令将多触点电路块（一般是并联电路块）与前面的电路块串联，它不带元件号。ANB 指令相当于两个电路块之间的串联连线，该点也可以视为它右边电路块的 LD 点。要串联电路块的起始触点使用 LD 或 LDI 指令，完成两个电路块的内部连接后，用 ANB 指令将它与前面的电路串联。

4.5.6　栈存储器与多重输出指令

MPS（Push），MRD（Read），MPP（Pop）指令分别是进栈、读栈和出栈指令，用于多

重输出电路。

FX 系列有 11 个存储中间运算结果的堆栈存储器（见图 4-29），堆栈采用先进后出的数据存取方式。MPS 指令用于存储电路中有分支处的逻辑运算结果，以便以后处理有线圈的支路时可以调用该运算结果。使用一次 MPS 指令，当时的逻辑运算结果压入堆栈的第一层，堆栈中原来的数据依次向下一层推移。

MRD 指令读取存储在堆栈最上层的电路中分支点处的运算结果，将下一个触点强制性地连接在该点。读数后堆栈内的数据不会上移或下移。

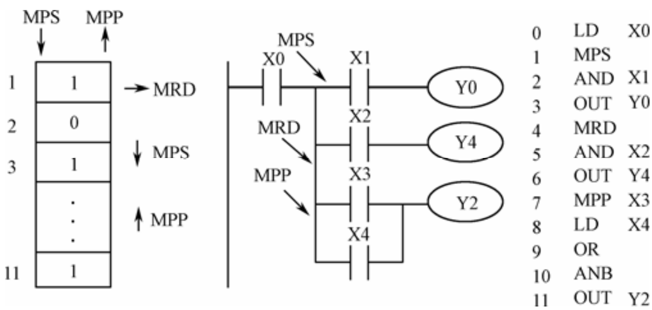


图 4-29　栈存储器与多重输出指令

MPP 指令弹出（调用并去掉）存储的电路中分支点的运算结果。首先将下一触点连接在该点，然后从堆栈中去掉该点的运算结果。使用 MPP 指令时，堆栈中各层的数据向上移动一层，最上层的数据在读出后从栈内消失。

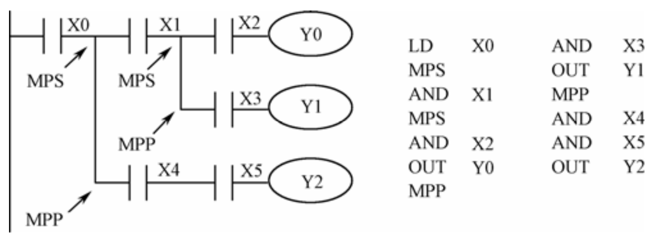


图 4-30　二层栈

图 4-29 和图 4-30 分别给出了使用一层栈和使用多层栈的例子。每一条 MPS 指令必须有一条对应的 MPP 指令，处理最后一条支路时必须使用 MPP 指令，而不是 MRD 指令。在一块独立电路中，用进栈指令同时保存在堆栈中的运算结果不能超过 11 个。

用编程软件生成梯形图程序后，如果将梯形图转换为指令表程序，编程软件会自动加入 MPS、MRD 和 MPP 指令。写入指令表程序时，必须由用户来写入 MPS、MRD 和 MPP 指令。

4.5.7　主控与主控复位指令MC，MCR

MC（Master Control）：主控指令，或公共触点串联连接指令，用于表示主控区的开始。MC 指令只能用于输出继电器 Y 和辅助继电器 M（不包括特殊辅助继电器）。

MCR（Master Control Reset）：主控指令 MC 的复位指令，用来表示主控区的结束。

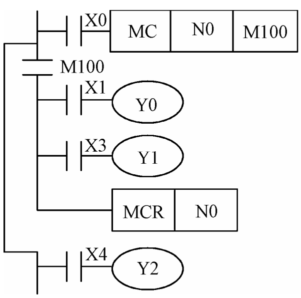
在编程时，经常会遇到许多线圈同时受一个或一组触点控制的情况，如果在每个线圈的控制电路中都串入同样的触点，将占用很多存储单元，主控指令可以解决这一问题。使用

主控指令的触点称为主控触点，它在梯形图中与一般的触点垂直。主控触点是控制一组电路的总开关。

与主控触点相连的触点必须用 LD 或 LDI 指令，换句话说，执行 MC 指令后，母线移到主控触点的后面去了，MCR 使母线（LD 点）回到原来的位置。

图 4-31 中 X0 的常开触点接通时，执行从 MC 到 MCR 之间的指令；MC 指令的输入电路断开时，不执行上述区间的指令，其中的积算定时器、计数器、用复位/置位指令驱动的软元件保持其当时的状态，其余的元件被复位，用 OUT 指令驱动的元件变为 OFF。图 4-31 指令中的 SP 为手持式编程器的空格键。

在 MC 指令区内使用 MC 指令称为嵌套（见图 4-32）。MC 和 MCR 指令中包含嵌套的层数为 N0～N7，N0 为最高层，N7 为最低层。在没有嵌套结构时，通常用 N0 编程，N0 的使用次数没有限制。




```
0   LD    X0
1   MC    N0
2   SP    M100
3   LD    X1
4   OUT   Y0
5   LD    X3
6   OUT   Y1
7   MCR   N0
8   LD    X4
9   OUT   Y2
```

图 4-31　主控与主控复位指令

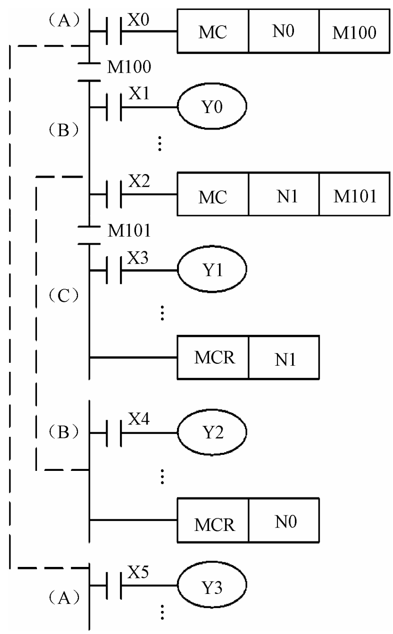


图 4-32　多重嵌套主控指令

在有嵌套时，MCR 指令将同时复位低的嵌套层，如指令 MCR N2 将复位 2～7 层。

4.5.8　SET与RST指令

SET：置位指令，使操作保持 ON 的指令。

RST：复位指令，使操作保持 OFF 的指令。

SET 指令可用于 Y、M 和 S，RST 指令可用于复位 Y、M、S、T、C，或将字元件 D、V 和 Z 清零。

如果图 4-33 中 X0 的常开触点接通，Y0 变为 ON 并保持该状态，即使 X0 的常开触点断开，它也仍然保持 ON 状态。当 X1 的常开触点闭合时，Y0 变为 OFF 并保持该状态，即使 X1 的常开触点断开，它也仍然保持 OFF 状态（见图 4-33 中的波形图）。

对同一编程元件，可多次使用 SET 和 RST 指令，最后一次执行的指令将决定当前的状态。RST 指令可将数据寄存器 D、变址寄存器 Z 和 V 的内容清零，RST 指令还用来复位积算

定时器 T246～T255 和计数器。SET、RST 指令的功能与数字电路中 R-S 触发器的功能相似，SET 和 RST 指令之间可以插入别的程序。如果它们之间没有别的程序，最后的指令有效。

图 4-34 中，X0 的常开触点接通时，积算定时器 T246 复位，X3 的常开触点接通时，计数器 C200 复位，它们的当前值被清零，常开触点断开，常闭触点闭合。在任何情况下，RST 指令都优先执行。计数器处于复位状态时，输入的计数脉冲不起作用。如果不希望计数器和积算定时器具有断电保持功能，可以在用户程序开始运行时用初始化脉冲 M8002 将它们复位。

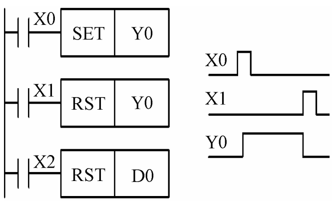


图 4-33　置位与复位指令

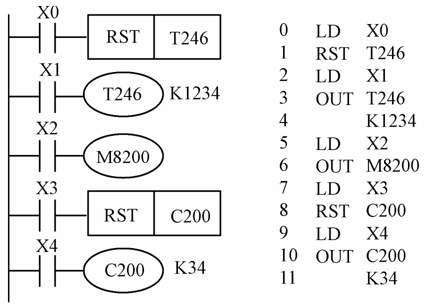


图 4-34　定时器与计数器的复位

4.5.9　取反、空操作与END指令

INV（Inverse）指令在梯形图中用一条 45° 的短斜线表示，它将执行该指令之前的运算结果取反，若运算结果为 0 将它变为 1，运算结果为 1 则变为 0。在图 4-35 中，如果 X0 和 X1 同时为 ON，则 Y0 为 OFF；反之则 Y0 为 ON。INV 指令也可以用于 LDP，LDF，ANDP 等脉冲触点指令。

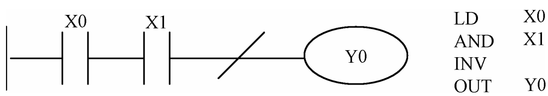


图 4-35　INV 指令

用手持式编程器输入 INV 指令时，先按 NOP 键，再按 P/I 键。

NOP（Non Processing）为空操作指令，使该步序作空操作。执行完清除用户存储器的操作后，用户存储器的内容全部变为空操作指令。

END（End）为结束指令，将强制结束当前的扫描执行过程。若不写 END 指令，将从用户程序存储器的第一步执行到最后一步；将 END 指令放在程序结束处，只执行第一步至 END 这一步之间的程序。使用 END 指令可以缩短扫描周期。

在调试程序时可以将 END 指令插在各段程序之后，从第一段开始分段调试，调试好以后必须删去程序中间的 END 指令，这种方法对程序的查错也很有用处。

4.5.10　编程注意事项

1．双线圈输出

如果在同一个程序中，同一元件的线圈使用了两次或多次，称为双线圈输出。对于输出继电器来说，在扫描周期结束时，真正输出的是最后一个 Y0 线圈的状态，见图 4-36（a）。

Y0 线圈的通断状态除了对外部负载起作用外，通过它的触点，还可能对程序中别的元件状态产生影响。图 4-36（a）中，Y0 两个线圈所在的电路将梯形图划分为 3 个区域。因为 PLC 是循环执行程序的，最上面和最下面区域中 Y0 的状态相同。如果两个线圈的通断状态相反，不同区域中 Y0 的触点状态也是相反的，可能使程序运行异常。有时会因双线圈引起输出继电器快速振荡的异常现象，所以一般应避免出现双线圈输出现象，如可将图 4-36（a）改为图 4-36（b）。

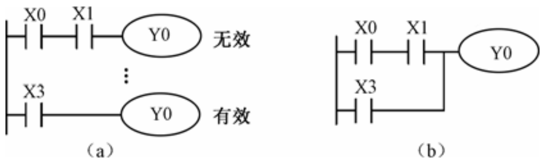
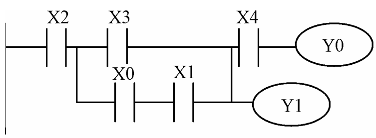


图 4-36　双线圈输出

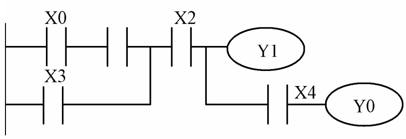
2．程序的优化设计

在设计并联电路时，应将单个触点的支路放在下面，设计串联电路时，应将单个触点放在右边，否则将多使用一条指令（见图 4-37）。建议在有线圈的并联电路中将单个线圈放在上面，即将图 4-37（a）的电路改为图 4-37（b）的电路，可以避免使用入栈指令 MPS 和出栈指令 MPP。




```
LD   X2        MPS
LD   X3        AND  X4
LD   X0        OUT  Y0
AND  X1        MPP
ORB            OUT  Y1
ANB
```

（a）不好的梯形图




```
LD   X0
AND  X1
OR   X3
AND  X2
OUT  Y1
AND  X4
OUT  Y0
```

（b）好的梯形图

图 4-37　梯形图的优化设计

3．编程元件的位置

输出类元件（如 OUT，MC，SET，RST，PLS，PLF 和大多数应用指令）应放在梯形图的最右边，它们不能直接与左侧母线相连。有的指令（如 END 和 MCR 指令）不能用触点驱动，必须直接与左侧母线或临时母线相连。

4.6　PLC的应用指令

FX系列PLC除了基本逻辑指令和步进指令外，还有很多应用指令。FX系列的应用指令多达 100 多条，由于篇幅的限制，本章只详细介绍比较常用的应用指令，对其余的指令只作简介，这些指令的使用方法可参阅FX的编程手册（可在三菱电机公司网站www.meau.com下载）。

4.6.1　FX系列PLC应用指令的表示方法与数据

1．应用指令的表示方法

FX 系列 PLC 采用计算机通用的助记符形式来表示应用指令。一般用指令的英文名称或缩写作为助记符，例如，图 4-38 中的指令助记符 BMOV（Block Move）用来表示数据块传送指令。

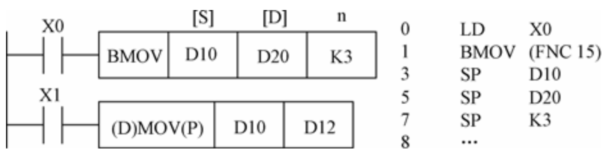


图 4-38　应用指令表示方法

有的应用指令没有操作数，大多数应用指令有 1～4 个操作数。图 4-38 中，[S]表示源（Source）操作数，[D]表示目标（Destination）操作数，源操作数或目标操作数不止一个时，可表示为[S1]、[S2]、[D2]等；n 或 m 表示其他操作数，它们常用来表示常数或源操作数和目标操作数的补充说明。需注释的项目较多时，可以采用 m1、m2 等方式。

应用指令的指令助记符占一个程序步，每一个 16 位操作数和 32 位操作数分别占 2 个和 4 个程序步。图 4-38 同时给出了应用指令 BMOV 的指令表和步序号，指令中的 SP 表示用编程器输入时，在两个操作数之间要按标有“SP”（Space）的空格键。

写入应用指令时，先按 FNC 键，再输入应用指令的编号，如应用指令 BMOV 的编号为 FNC 15。使用编程器 HELP 键的帮助功能，可以显示应用指令助记符和编号的一览表。

图 4-38 中 X0 的常开触点接通时，将 3 个（n=3）数据寄存器 D10～D12 中的数据传送到 D20～D22 中。

2．32 位指令与脉冲执行指令

（1）32 位指令

图 4-38 中助记符 MOV 之前的“D”表示处理 32 位（bit）双字数据，这时相邻的两个数据寄存器组成数据寄存器对，该指令将 D11、D10 中的数据传送到 D13、D12 中，D10 中为低 16 位数据，D11 中为高 16 位数据。处理 32 位数据时，为了避免出现错误，建议使用首地址为偶数的操作数，没有“D”时表示处理 16 位数据。在 FX 系列 PLC 的编程手册和编程软件中，表示 32 位指令的“D”两侧没有加括号。

（2）脉冲执行指令

图 4-38 中 MOV 后面的“P”表示脉冲（Pulse）执行，即仅在 X1 由 OFF→ON 状态时执行一次。如果没有“P”，在 X1 为 ON 的每一扫描周期指令都要被执行，称为连续进行。INC（加 1）、DEC（减 1）和 XCH（数据交换）等指令一般应使用脉冲执行方式。如果不需要每个周期都执行指令，使用脉冲方式可以减少执行指令的时间。符号“P”和“D”可同时使用，如“D***P”，其中“***”表示应用指令的助记符。

MOV 的应用指令编号为 12，输入应用指令“D MOV P”时按以下顺序按键：FNC→D→1→2→P。

在编程软件中，直接输入“DMOVP D10 D12”，指令和各操作数之间用空格分隔。在编程手册中，符号“没有找到这个符号”表示在每一扫描周期改变目标操作数的值。符号“* 这个也是没有找到这个符号”表示不能使用变址寻址的操作数。

3．数据格式

1）位元件与位元件的组合

位（bit）元件用来表示开关量的状态，如常开触点的通、断，线圈的通电和断电，这两种状态分别用二进制数 1 和 0 表示，或称为该编程元件处于 ON 或 OFF 状态。X，Y，M 和 S 为位元件。

FX 系列 PLC 用 KnP 的形式表示连续的位元件组，每组由 4 个连续的位元件组成，P 为位首地址，n 为组数（n=1～8）。例如，K2M0 表示由 M0～M7 组成的两个位元件组成，M0 为数据的最低位（首位）。16 位操作数时 n=1～4，n<4 时高位为 0；32 位操作数时 n=1～8，n<8 时高位为 0。

建议在使用成组的位元件时，X 和 Y 首地址的最低位为 0，如 X0、X10、Y20 等。对于 M 和 S，首地址可以采用能被 8 整除的数，也可以采用最低位为 0 的地址，如 M32、S50 等。

应用指令中的操作数可能取 K（十进制常数）、H（十六进制常数），如 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

2）字元件

一个字由 16 个二进制位组成，字元件用来处理数据，如定时器和计数器的设定值寄存器、当前值寄存器和数据寄存器 D 都是字元件，位元件 X、Y、M、S 等也可以组成字元件来进行数据处理。PLC 可以按以下的方式存取字数据。

（1）二进制补码

在 FX 系列 PLC 内部，数据以二进制（BIN）补码的形式存储，所有四则运算和加 1、减 1 运算都使用二进制数。二进制补码的最高位（第 15 位）为符号位，正数的符号位为 0，负数的符号位为 1，最低位为第 0 位。第 N 位二进制数为 1 时，对应的十进制数为 2n。以 16 位二进制数 0000 0100 1000 0110 为例，对应的十进制数为 $2^{10}+2^7+2^2+2^1=1\,158$。

最大的 16 位正数为 0111 1111 1111 1111，对应的十进制数为 32 767。

将负数的各位逐位求反后加 1，可得到其绝对值。以 1111 1011 0111 1010 为例，将它逐位取反后得 0000 0100 1000 0101，加 1 后得 0000 0100 1000 0110，对应的十进制数为 1 158，所以 1111 1011 0111 1010 对应的十进制数为–1 158。

（2）十六进制数

十六进制数使用 16 个符号，即数字 0～9 和 A～F（分别对应十进制数 10～15），十六进制数采用逢 16 进 1 的运算规则。4 位二进制数可以转换为 1 位十六进制数，如二进制数 1010 1110 0111 0101 可转换为十六进制数 AE75。

（3）BCD 码

BCD（Binary Coded Decimal）码是按二进制编码的十进制数。每位十进制数用 4 位二进制数表示，0～9 对应的二进制数为 0000～1001，各位十进制数之间采用逢 10 进 1 的运算规则。以 BCD 码 1001 0110 0111 0101 为例，对应的十进制数为 9 675，最高的 4 位二进制数 1001 实际上表示 9 000。16 位 BCD 码对应 4 位十进制数，允许的最大数字为 9 999，最小数字为 0000。从 PLC 外部的数字拨码开关输入的数据是 BCD 码，PLC 送给外部 7 段显示器的数据一般也是 BCD 码。

3）科学计数法与浮点数

科学计数法和浮点数可以用来表示整数或小数，包括很大的数和很小的数。

（1）科学计数法

在科学计数法中，数字占用相邻的两个数据寄存器字（如 D0 和 D1），D0 中的是尾数，D1 中的是指数，数据格式为：

尾数$*10^{指数}$

其中尾数是 4 位 BCD 整数，范围为 0，1 000～9 999 和–1 000～–9 999，指数的范围为–41～+35。例如，小数 24.567 用科学计数法表示为 $2456*10^{-2}$。科学计数法格式不能直接用于运算，可用于监视接口中数据的显示。在 PLC 内部，尾数和指数都按 2 的补码处理，它们的最高位为符号位。

使用应用指令 EBCD 和 BEIN 可以实现科学计数法格式与浮点数格式之间的相互转换。

（2）浮点数格式

浮点数由相邻的两个数据寄存器字（如 D11 和 D10）组成，D10 中的数是低 16 位。在 32 位中，尾数占低 23 位（b0～b22 位，最低位为 b0 位），指数占 8 位（b23～b30 位），最高位（b31 位）为符号位。浮点数格式为：

浮点数=（尾数）$*2^{指数}$

因为尾数为 32 位，与科学计数法相比，浮点数的精度有很大的提高，其尾数相当于 6 位十进制数。浮点数的表示范围为$+1.75*10^{-38}$～$+3.403*10^{38}$。

使用应用指令 FLT 和 INT 可以实现整数与浮点数之间的相互转换。

4．变址寄存器V、Z

FX1S、FX1N 有两个变址寄存器 V 和 Z，FX2N 和 FX2NC 有 16 个变址寄址器 V0～V7 和 Z0～Z7。在传送、比较指令中，变址寄存器 V 和 Z 用来修改操作对象的元件号，在循环程序中常使用变址寄存器。

对于 32 位指令，V 为高 16 位，Z 为低 16 位。32 位指令中，V、Z 自动组对使用。这时变址指令只需指定 Z，Z 就能代表 V 和 Z 的组合。

图 4-39 中的各触点接通时，常数 10 送到 V0，常数 20 送到 Z1，ADD（加法）指令完成运算（D5V0）+（D15Z1）→（D40Z1），即（D15）+（D35）→（D60）。

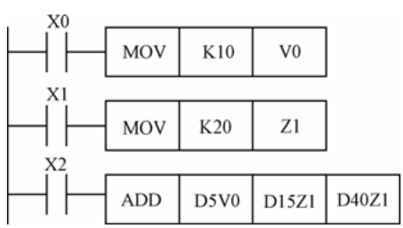


图 4-39　变址寄存器的使用

4.6.2　程序流控制指令

1．条件跳转指令（FNC00）

指针 P（Point）用于分支和跳步程序。在梯形图中，指针放在左侧母线的左边。FX1S 有 64 点指针（P0～P63），FX1N、FX2N 和 FX2NC 有 128 点指针（P0～P127）。

条件跳转指令 CJ（Conditional Jump）用于跳过顺序程序中的某一部分，以控制程序的流程。当图 4-40 中的 X0 为 ON 时，程序跳转到指针 P8 处，如果 X0 为 OFF，则不执行跳转，程序按原顺序执行。跳转时，不执行被跳过的那部分指令。用编程器输入程序

时，图 4-40 中的指针 P8 放在指令“LD X14”之前。多条跳转指令可以使用相同的指针。

指针可以出现在相应跳转指令之前，但是如果反复跳转的时间超过监控定时器的设定时间，会引起监控定时器出错。

一个指针只能出现一次，若出现两次或两次以上，则会出错。如果用 M8000 的常开触点驱动 CJ 指令，相当于无条件跳转指令，因为运行时特殊辅助继电器 M8000 总是为 ON。P63 是 END 所在的步序，在程序中不需要设置 P63。

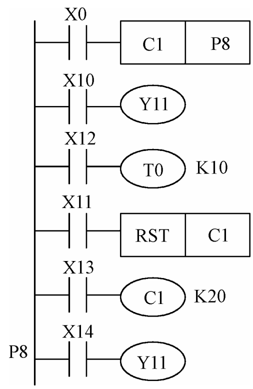


图 4-40　CJ 跳转指令

设 Y、M、S 被 OUT、SET、RST 指令驱动，跳步期间即使驱动 Y、M、S 的电路状态改变了，它们仍保持跳步前的状态。例如，图 4-40 中的 X0 为 ON 时，Y11 的状态不会随 X10 发生变化，因为跳步期间根本没有执行这一段程序。定时器和计数器如果被 CJ 指令跳过，跳过期间它们的当前值将被冻结。如果在跳步开始时定时器和计数器正在工作，在跳步期间它们将停止定时和计数，在 CJ 指令的条件变为不满足后继续工作。高速计数器的处理独立于主程序，其工作不受跳步的影响。如果应用指令 PLSY（脉冲输出，FNC 57）和 PWM（脉冲宽度调制，FNC 58）在刚被 CJ 指令跳过时正在执行，跳步期间它们将继续工作。

2．子程序调用与子程序返回指令

子程序调用指令 CALL（Sub Routine Call，FNC01）的操作数为 P0～P62，子程序返回指令 SRET（Sub Routine Return，FNC02）无操作数。图 4-41 中的 X10 为 ON 时，CALL 指令使程序跳转到指针 P8 处，子程序被执行，执行完 SRET 指令后返回到 104 步。

子程序应放在 FEND（主程序结束）指令之后，同一指针只能出现一次，CJ 指令中用过的指针不能再用，不同位置的 CALL 指令可以调用同一指针的子程序。在子程序中调用子程序称为嵌套。图 4-42 中的 CALL（P）P11 指令仅在 X0 由 OFF 变为 ON 时执行一次。在执行子程序 1 时，若 X1 为 ON，CALL　P12 指令被执行，程序跳到 P12 处，嵌套执行子程序 2。执行第二条 SRET 指令后，返回子程序 1 中 CALL　P12 指令的下一条指令，执行第一条 SRET 指令后，返回主程序中 CALL P11 指令的下一条指令。因为子程序是间歇使用的，在子程序中使用的定时器应在 T192～T199 和 T246～T249 中选择。

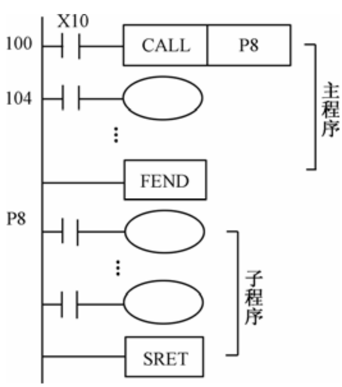


图 4-41　子程序调用

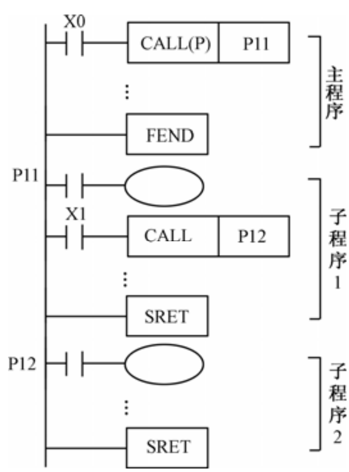


图 4-42　子程序的嵌套调用

4.6.3　与中断有关的指令

FX 系列 PLC 的中断事件包括输入中断、定时中断和高速计数器中断。发生中断事件时，CPU 停止执行当前的工作，立即执行预先写好的相应的中断程序，这一过程不受 PLC 扫描工作方式的影响，因此使 PLC 能迅速响应中断事件。

1．用于中断的指针

用于中断的指针用来指明某一中断源的中断程序入口，执行到 IRET（中断返回）指令时返回主程序。中断指针应在 FEND 指令之后使用。输入中断用来接收特定的输入地址号的输入信号，图 4-43 给出了输入中断和定时器中断指针编号的意义，输入中断指针为 1□0□，最高位 X0～X5 的元件号相对应。FX1S 的输入号为 0～3（从 X0～X3 输入），其余单元的输入号为 0～5（从 X0～X5 输入）。最低位为 0 时表示下降沿中断，反之为上升沿中断。例如，中断指针 1001 之后的中断程序在输入信号 X0 的上升沿时执行。

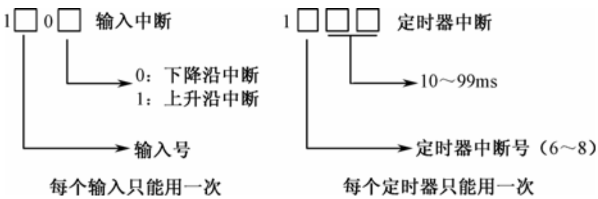


图 4-43　中断指针

同一个输入中断源只能使用上升沿中断或下降沿中断，如不能同时使用中断指针 1 000 和 1 001。用于中断的输入点不能与已经用于高速计数器的输入点冲突。

FX2N 和 FX2NC 系列有 3 点定时中断，中断指针为 16□□～18□□，低两位是以 ms 为单位的定时时间。定时中断使 PLC 以指定的周期定时执行中断子程序，循环处理某些任务，处理时间不受 PLC 扫描周期的影响。

FX2N 和 FX2NC 系列有 6 点计数中断，中断指针为 10□0（□=1～6）。计数器中断与 HSCS（高速计数器比较置位）指令配合使用，根据高速计数器的计数当前值与计数设定值的关系来确定是否执行相应的中断服务程序。

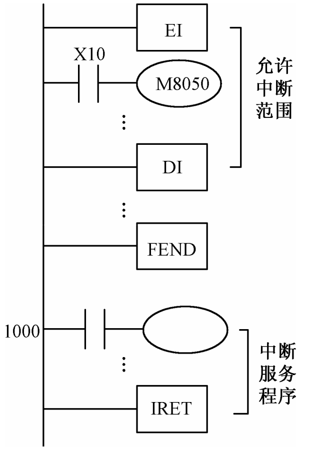


图 4-44　中断指令的使用

如图 4-44 所示，与中断有关的指令中断返回指令 IRET（Interruption Return）、允许中断指令 EI（Interruption Enable）和禁止中断指令 DI（Interruption Disable）的应用指令编号分别为 FNC03～FNC05，均无操作数，分别占用一个程序步。

PLC 通常处于禁止中断的状态，指令 EI 和 DI 之间的程序段为允许中断的区间，当程序执行到该区间时，如果中断源产生中断，CPU 将停止执行当前的程序，转去执行相应的中断子程序，执行到中断子程序中的 IRET 指令时，返回原断点，继续执行原来的程序。

中断程序从它唯一的中断指针开始，到第一条 IRET 指令结束。中断程序应放在 FEND 指令之后，IRET 指令只能在中断程序中使用。特殊辅助继电器 M805△为 ON 时

（△=0～8），禁止执行相应的中断 I△□□（□□是与中断有关的数字）。M8059 为 ON 时，关闭所有的计数器中断。

如果有多个中断信号依次发出，则优先级按发生的先后为序，发生越早的优先级越高。若同时发生多个中断信号，则中断指针号小的优先。

执行一个中断子程序时，其他中断被禁止，在中断子程序中编入 EI 和 DI，可实现双重中断，只允许两级中断嵌套。如果中断信号在禁止中断区间出现，该中断信号被储存，并在 EI 指令之后影响该中断。不需要关闭中断时，只使用 EI 指令，可以不使用 DI 指令。

中断输入信号的脉冲宽度应大于 200μs，选择了输入中断时，其硬件输入滤波器自动地复位为 50μs（通常为 10μs）。

直接高速输入可用于“捕获”窄脉冲信号。FX 系列 PLC 需要用 EI 指令来激活 X0～X5 的脉冲捕获功能，捕获的脉冲状态存放在 M8170～M8175 中。接收到脉冲后，相应的特殊辅助继电器 M 变为 ON，可用捕获的脉冲来触发某些操作。如果输入元件已用于其他高速功能，脉冲捕获功能将被禁止。

2．主程序结束指令（FNC06）

主程序结束指令 FEND（First End）无操作数，占用一个程序步，表示主程序结束和子程序区的开始。执行到 FEND 指令时 PLC 进行输入/输出处理、监控定时器刷新，完成后返回第 0 步。子程序（包括中断子程序）应放在 FEND 指令之后。CALL 指令调用的子程序必须用 SRET 指令结束，中断子程序必须以 IRET 指令结束。

若 FEND 指令在 CALL 指令执行之后和 SRET 指令执行之前出现，则程序出错。另一个类似的错误是 FEND 指令出现在 FOR-NEXT 循环之中。使用多条 FEND 指令时，中断程序应放在最后的 FEND 指令和 END 指令之间。

3．监控定时器指令（FNC07）

监控定时器指令 WDT（Watch Dog Timer）无操作数，占用一个程序步。监控定时器又称看门狗，在执行 FEND 和 END 指令时，监控定时器被刷新（复位），PLC 正常工作时扫描周期（从 0 步到 FEND 或 END 指令的执行时间）小于它的定时时间。如果强烈的外部干扰使 PLC 偏离正常的程序执行路线，监控定时器不再被复位，定时时间到时，PLC 将停止运行，它上面的 CPU-E 发光二极管亮。监控定时器定时时间的默认值为 200ms，可通过修改 D8000 来设定它的定时时间。如果扫描周期大于它的定时时间，可将 WDT 指令插入合适的程序步中刷新监控定时器。如果 FOR-NEXT 循环程序的执行时间可能超过监控定时器的定时时间，可将 WDT 指令插入循环程序中。条件跳步指令 CJ 若在它对应的指针之后（即程序向回跳），可能因连续反复跳步使它们之间的程序被反复执行，总的执行时间可能超过监控定时器的定时时间，为了避免出现这种情况，可在 CJ 指令和对应的指针之间插入 WDT 指令。

4.6.4　循环指令

FOR（FNC08）指令用来表示循环区域的起点，它的源操作数用来表示循环次数 N（N=1～32 767），可以取任意的数据格式。如果 N 为负数，当作 N=1 处理，循环可嵌套 5 层。NEXT（FNC09）是循环区终点指令，无操作数。

FOR 与 NEXT 之间的程序会被反复执行，执行次数由 FOR 指令的源操作数设定。执行完后，执行 NEXT 后面的指令。

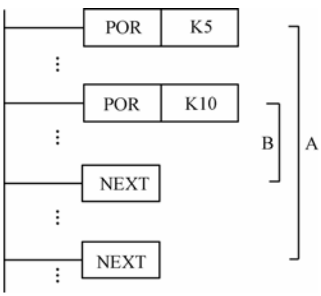


图 4-45　循环程序

在图 4-45 中，外层循环程序 A 嵌套了内层循环 B，循环 A 执行 5 次，每执行一次循环 A，就要执行 10 次循环 B，因此循环 B 一共要执行 50 次。利用循环中的 CJ 指令可跳出 FOR-NEXT 之间的循环区。

FOR 与 NEXT 指令总是成对使用的。FOR 指令应放在 NEXT 的前面，如果没有满足上述条件，或 NEXT 指令放在 FEND 和 END 指令的后面，都会出错。如果执行 FOR-NEXT 循环的时间太长，应注意扫描周期是否会超过监控定时器的设定时间。

4.6.5　比较与传送指令

1．比较指令

比较指令包括 CMP（比较）和 ZCP（区间比较），比较结果用目标元件的状态来表示。待比较的源操作数[S1]、[S2]和[S3]（CMP 只有两个源操作数）可取任意的数据格式，目标操作数[D]可取 Y、M 和 S，占用连续的 3 个元件。

（1）比较指令（FNC10）

比较指令 CMP（Compare）比较源操作数[S1]和[S2]，比较的结果送到目标操作数[D]中。图 4-46 的比较指令将十进制常数 100 与计数器 C10 的当前值比较，比较结果送到 M0～M2。X1 为 OFF 时不进行比较，M0～M2 的状态保持不变。X1 为 ON 时进行比较，如果比较结果为[S1]>[S2]，M0 处于 ON 状态；若[S1]=[S2]，M1 处于 ON 状态；若[S1]<[S2]，M2 处于 ON 状态。指定的元件种类或元件号超出允许范围时将会出错。

（2）区间比较（FNC11）

区间比较指令的助记符为 ZCP（Zone Compare），图 4-47 中的 X2 为 ON 时，执行 ZCP 指令，将 T3 的当前值与常数 100 和 150 相比较，比较结果送到 M3～M5，源数据[S1]不能大于[S2]。

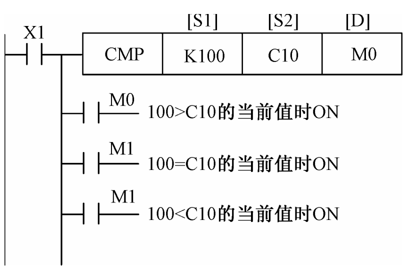


图 4-46　比较指令的使用

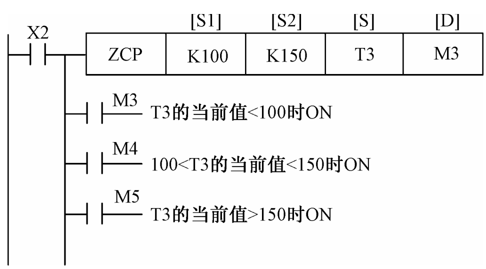


图 4-47　区间比较指令的使用

（3）触点型比较指令

触点型比较指令相当于一个触点，执行时比较源操作数[S1]和[S2]，满足比较条件则触点闭合，源操作数可取所有的数据类型。以 LD 开始的触点型比较指令接在左侧母线上，以 AND 开始的触点型比较指令与别的触点或电路串联，以 OR 开始的触点型比较指令与别的触点或电路并联。各种触点型比较指令的助记符和含义如表 4-16 所示。图 4-48 中，C10 的

当前值等于 20 时 Y10 被驱动，D200 的值大于–30 且 X0 为 ON 时，Y11 被 SET 指令置位。图 4-49 中，M27 为 ON 或 C20 的值等于 146 时，Y10 的线圈通电。

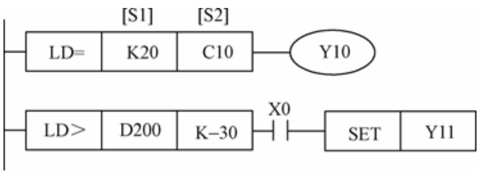


图 4-48　LD 触点型比较指令

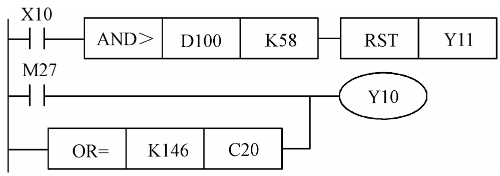


图 4-49　触点型比较指令

表 4-16　触点型比较指令

功能号	助记符	含　　义	功能号	助记符	含　　义
224	LD=	（S1）=（S2）时运算开始的触点接通	236	AND<>	（S1）<>（S2）时串联触点接通
225	LD>	（S1）>（S2）时运算开始的触点接通	237	AND≤	（S1）≤（S2）时串联触点接通
226	LD<	（S1）<（S2）时运算开始的触点接通	238	AND≥	（S1）≥（S2）时串联触点接通
228	LD<>	（S1）<>（S2）时运算开始的触点接通	240	OR=	（S1）=（S2）时并联触点接通
229	LD≤	（S1）≤（S2）时运算开始的触点接通	241	OR>	（S1）>（S2）时并联触点接通
230	LD≥	（S1）≥（S2）时运算开始的触点接通	242	OR<	（S1）<（S2）时并联触点接通
232	AND=	（S1）=（S2）时串联触点接通	244	OR<>	（S1）<>（S2）时并联触点接通
233	AND>	（S1）>（S2）时串联触点接通	245	OR≤	（S1）≤（S2）时并联触点接通
234	AND<	（S1）<（S2）时串联触点接通	246	OR≥	（S1）≥（S2）时并联触点接通

2．传送指令（FNC12～FNC16）

传送指令包括 MOV（传送）、SMOV（BCD 码移位传送）、CML（取反传送）、BMOV（数据块传送）和 FMOV（多点传送）。

（1）传送指令（FNC12）

传送指令 MOV（Move）将源数据传送到指定目标，图 4-50（a）中的 X1 为 ON 时常数 100 被传送到 D10，并自动转换为二进制数。

（2）移位传送指令（FNC13）

移位传送指令 SMOV（Shift Move）将 4 位十进制（Decimal）源数据[S]中指定位数的数据，传送到 4 位十进制目的操作数中指定的位置。

（3）取反传送指令（FNC14）

取反传送指令 CML（Complement）将源元件中的数据逐位取反（1→0，0→1），并传送到指定目标。

（4）数据块传送指令（FNC15）

数据块传送指令 BMOV（Block Move）的源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z 和文件寄存器，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z 和文件寄存器。该指令将源操作指定元件开始的 n 个数据组成的数据块传送到指定的目标，n 可取 K 和 D。如果元件号超出允许的范围，数据仅传送到允许的范围。

传送顺序是自动决定的，以防止源数据块与目标数据块重叠时源数据在传送过程中被改写。如果源元件与目标元件的类型相同，传送顺序如图 4-50（b）所示。

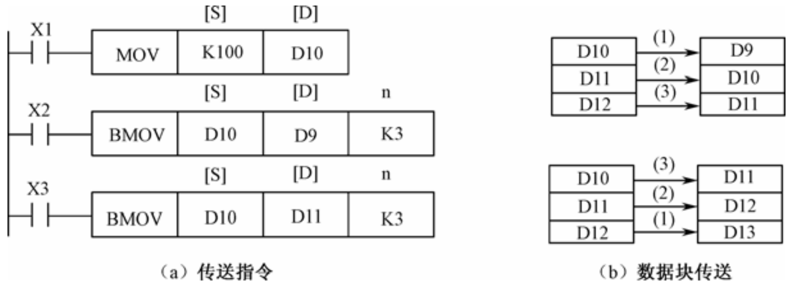


图 4-50　传送指令与数据块传送

（5）多点传送指令（FNC16）

多点传送指令 FMOV（Fill Move）将单个元件中的数据传送到指定目标地址开始的 *n* 个元件中，传送后 *n* 个元件中的数据完全相同。多点传送指令的源操作数可取所有的数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，*n* 为常数，*n*≤512。

图 4-51 中，X2 为 ON 时将常数 0 送到 D5～D14 这 10 个（*n*=10）数据寄存器中。

3．数据交换指令（FNC17）

执行数据交换指令 XCH（Exchange）时，数据在指定的目标元件之间交换。数据交换指令一般采用脉冲执行方式，否则在每一个扫描周期都要交换一次。

4．数据变换指令

数据变换指令包括 BCD（二进制数转换成 BCD 码并传送）和 BIN（BCD 码转换成二进制数并传送）指令。如图 4-52 所示，它们的源操作数可取 KnX、KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

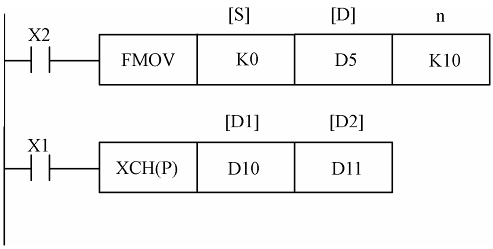


图 4-51　多点数据传送

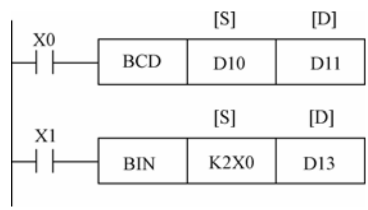


图 4-52　BCD 变换与 BIN 变换

（1）BCD 变换指令（FNC18）

BCD 变换指令（Binary Code to Decimal）将源元件中的二进制数转换为 BCD 码并送到目标元件中。如果执行的结果超过 0～9 999，或双字的执行结果超过 0～99 999 999，将会出错。

PLC 内部的算术运算用二进制数进行，可以用 BCD 指令将二进制数变换为 BCD 数后输出到 7 段显示器。M8032 为 ON 时，双字将被转换为科学计数法格式。

（2）BIN 变换指令（FNC19）

BIN 变换指令（Binary）将源元件中的 BCD 码转换为二进制数后送到目标元件中。可以用 BIN 指令将 BCD 数字拨码开头提供的设定值输入到 PLC，如果源元件中的数据不是 BCD 数，将会出错。M8032 为 ON 时，将科学计数法格式的数转换为浮点数。

4.6.6　算术运算与字逻辑运算指令

1．算术运算

算术运算包括 ADD、SUB、MUL、DIV（二进制加、减、乘、除）指令，源操作数可取所有的数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，32 位乘、除指令中 V 和 Z 不能用做目标操作数。

每个数据的最高位为符号位（0 为正，1 为负），所有的运算均为代数运算。在 32 位运算中被指定的字编程元件为低位字，下一个字编程为高位字。为了避免错误，建议指定操作元件时采用偶数元件号。如果目标元件与源元件相同，为避免每个扫描周期都执行一次指令，可采用脉冲执行方式。

如果运算结果为 0，零标志 M8020 置 1；运算结果超过 32 767（16 位运算）或 2 147 483 647（32 位运算），进位标志 M8022 置 1；运算结果小于–32 768（16 位运算）或 –2 147 483 648（32 位运算），借位标志 M8021 置 1。

如果目标操作数（如 KnM）的位数小于运算结果，将只保存运算结果的低位。例如，运算结果为二进制数 11001（十进制数 25），指定的目标操作数为 K1Y4（由 Y4～Y7 组成的 4 位二进制数），实际上只能保存低位的二进制数 1001（十进制数 9）。令 M8023 为 ON，可用算术运算指令作 32 位浮点数运算。

2．加 1 指令（FNC24）和减 1 指令（FNC25）

加 1 指令 INC（Increment）和减 1 指令 DEC（Decrement）的操作数均可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。它们不影响零标志、借位标志和进位标志。

在 16 位运算中，32 767 再加 1 就变成–32 768；32 位运算符+2 147 483 647 再加 1 就会变为–2 147 483 648。减 1 指令也采用类似的处理方法。如果不用脉冲指令，每一个扫描周期都要加 1。

3．字逻辑运算指令（FNC26～FNC29）

字逻辑运算指令包括 WAND（字逻辑与）、WOR（字逻辑或）、WXOR（字逻辑异或，Exclusive Or）和 NEG（求补，Negation）指令，它们的[S1]和[S2]均可取所有的数据类型，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

这些指令以位（bit）为单位作相应的运算（见表 4-17）。XOR 指令与 CML（求反）指令组合使用可以实现“异或非”运算（见图 4-53）。

表 4-17　逻辑运算关系表

与			或			异　或		
M = A · B			M = A + B			M = A ⊕ B		
A	B	M	A	B	M	A	B	M
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	0

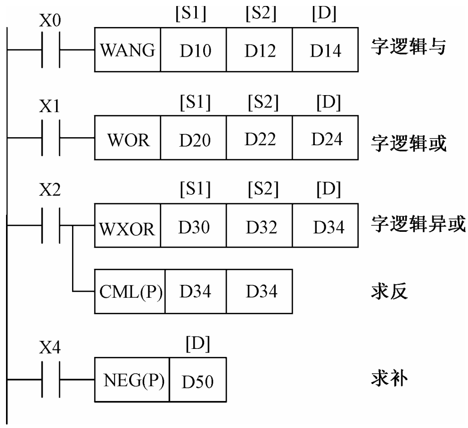


图 4-53　字逻辑运算

求补（NEG，Negation）指令只有目标操作数，它将[D]指定的数的每一位取反后再加 1，结果存于同一元件。求补指令实际上是绝对值不变的变号操作。

FX 系列 PLC 的负数用 2 的补码形式表示，最高位为符号位，正数时该位为 0，负数时该位为 1，将负数求补后得到其绝对值。

4.6.7　移位指令

1．右、左循环移位指令

右、左循环移位指令分别为 ROR（Rotation Right，FNC30）和 ROL（Rotation Left，FNC31）。它们只有目标操作数，可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

执行这两条指令时，各位的数据向右（或向左）循环移动 *n* 位（*n* 为常数），16 位指令和 32 位指令中 *n* 应分别小于 16 和 32，每次移出来的那一位同时存入进制标志 M8022 中（见图 4-54 和图 4-55）。若在目标元件中指定位元件组的组数，则只有 K4（16 位指令）和 K8（32 位指令）有效，如 K4Y10 和 K8M0。

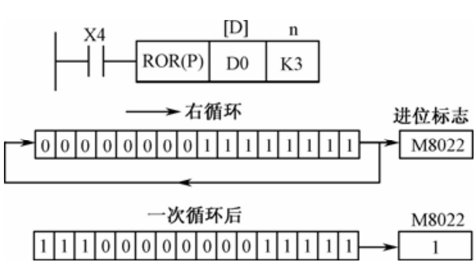


图 4-54　右循环

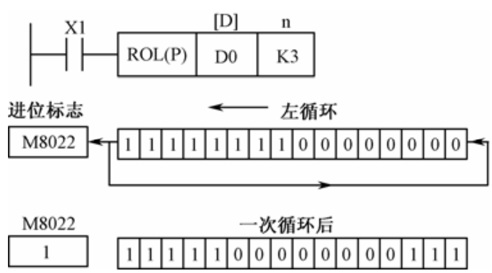


图 4-55　左循环

2．带进位的循环移位指令

带进位的右、左循环移位指令的指令代码分别为 RCR（Rotation Right with Carry，FNC32）和 RCL（Rotation Left with Carry，FNC33）。它们的目标操作数、程序步数和 *n* 的取值范围与循环移位指令相同。执行这两条指令时，各位的数据与进位位 M8022 一起（16 位指令时一共 17 位）向右（或向左）循环移动 *n* 位。在循环中移出的位送入进位标志，后者又被送回到目标操作数的另一端。

3．位右移和位左移指令

位右移 SFTR（Shift Right，FNC34）与位左移 SFTL（Shift Left，FNC35）指令使位元件中的状态成组地向右或向左移动，由 N_1 指定位元件的长度，N_2 指定移动的位数，常数 $N_2 \leqslant N_1 \leqslant 11\,024$。

4．字右移和字左移指令

字右移 WSFR（Word Shift Right，FNC36）和字左移 WSFL（Word Shift Left，FNC37）指令将 N_1 个字成组地右移或右移 N_2 个字，$N_2 \leqslant N_1 \leqslant 512$。

5．移位寄存器写入与读出指令

移位寄存器又称为 FIFO（First in First out，先入先出）堆栈，堆栈的长度范围为 2～512 个字。移位寄存器写入指令 SFRW（Shift Register Write）和移位寄存器读出指令 SFRD（Shift Register Read）用于 FIFO 堆栈的读、写，先写入的数据先读出。

4.6.8　数据处理指令

1．区间复位指令（FNC40）

区间复位指令 ZRST（Zone Reset）将[D1]、[D2]指定元件号范围内的同类元件成批复位，目标操作数可取 T、C 和 D（字元件）或 Y、M、S（位元件）。

[D1]和[D2]指定的应为同一类元件，[D1]的元件号应小于[D2]的元件号（见图 4-56）。如果[D1]的元件号大于[D2]的元件号，则只有[D1]指定的元件被复位。

虽然 ZRST 指令是 16 位处理指令，但[D1]、[D2]也可以指定 32 位计数器。

2．解码与编码指令

设图 4-56 中解码指令 DECO（Decode，FNC41）的源操作数 X2～X0 组成的二进制数为 N，该指令将 M10 开始的目标操作数 M10～M17（共 8 位，2^n=8）中的第 n 位置为 1，其余各位置 0，相当于数字电路中译码电路的功能。利用解码指令，可以用数据寄存器中的值来控制位元件的 ON/OFF。n=1～4，X0 是源操作数的首位。

图 4-56 中的编码指令 ENCO（Encode，FNC42）将源操作数 M20～M27（共 8 位，2^n=8）中为 ON 的最高位的位数（二进制）存放在目标元件 D10 的低 3 位中，n = 1～4。

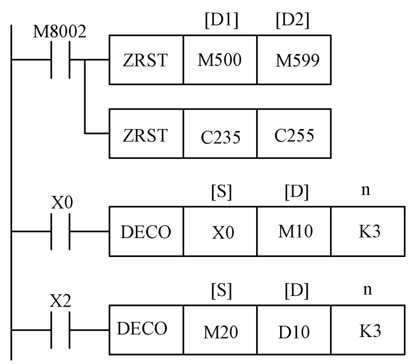


图 4-56　区间复位与解码、编码指令

3．求置ON位总数与ON位判别指令

位元件的值为 1 时称为 ON，求置 ON 位总数指令 SUM（FNC43）、用来统计源操作数中位元件的值为 1 的个数，ON 位判别指令 BON（FNC44）用来检测指定元件中的指定位是否为 ON。若为 ON，则位目标操作数变为 ON，目标元件是源操作数中指定位的状态的镜像。

4．报警器置位与复位指令

如图 4-57 所示，在使用应用指令 ANS（信号报警器置位）和 ANR（信号报警器复位）

时，状态标志 S900～S999 可用做外部故障诊断的输出，称为信号报警器。

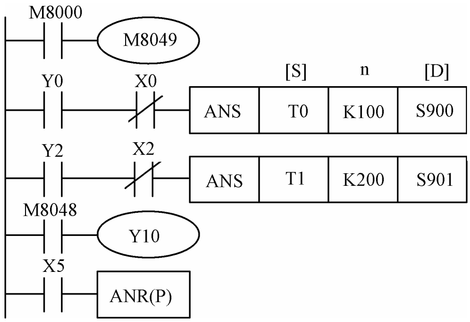


图 4-57　信号报警器置位与复位指令

5．其他指令

（1）平均值指令（FNC45）

平均值指令 MEAN（Mean）用来求 1～64 个源操作数的代数和被 *n* 除的商，余数略去（见图 4-58）。

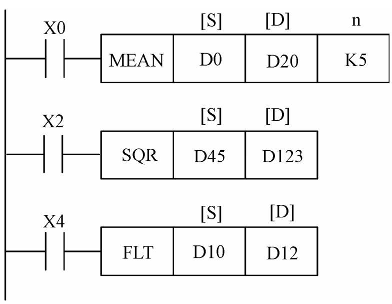


图 4-58　平均值指令、平方根指令和浮点数转换指令

（2）二进制平方根指令（FNC48）

平方根指令 SQR（Square Root）的源操作数[S]应大于零，可取 K、H、D，目标操作数为 D。图 4-58 中的 X2 为 ON 时，将存放在 D45 中的数开平方，结果存放在 D123 内。计算结果略去小数，只取整数。M8023 为 ON 时，将对 32 位浮点数开方，结果为浮点数。源操作数为整数时，将自动转换为浮点数。如果源操作数为负数，运算错误标志 M8067U 将为 ON。

（3）浮点数转换指令（FNC49）

浮点数转换指令 FLT（Floating Point）的源操作数和目标操作数均为 D。图 4-58 中的 X4 为 ON，且 M8023（浮点数标志）为 OFF 时，该指令将存放在源操作数 D10 中的数据转换为浮点数，并将结果存放在目标寄存器 D12 中。M8023 为 ON 时，将浮点数转换为整数。用于存放浮点数的目标操作数应为双整数，源操作数可以是整数或双整数。

（4）高低字节交换指令（FNC147）

一个 16 位的字由两个 8 位的字节组成。16 位运算时，高低字节交换指令 SWAP 交换源操作数的高字节和低字节。32 位运算时，如指定的源操作数为 D20，先交换 D20 的高字节和低字节，再交换 D21 的高字节和低字节。

4.6.9　处理指令

1．输入与输出刷新指令（FNC50）

输入与输出刷新指令 REF（Refresh）的目标操作数[D]用来指定目标元件的首位，应取最低位为 0 的 X 和 Y 元件，如 X0、X10、Y20 等，*n* 应为 8 的整数倍。

FX 系列 PLC 使用 I/O 批处理的方法，即输入信号是在程序处理之前成批读入到输入映像寄存器的，而输出数据是在执行 END 指令之后由输出映像寄存器通过输出锁存器送到输

出端子的。REF 指令用于在某段程序处理时读入最新输入，或将操作结果立即输出。

若图 4-59 中的 X0 为 ON，则 X10～X17 这 8 点输入（n=8）被立即刷新。X1 为 ON 时，Y0～Y27（八进制数）共 28 点输出被刷新。I/O 元件被刷新时有很短的延迟，输入的延迟与输入滤波器设置有关。

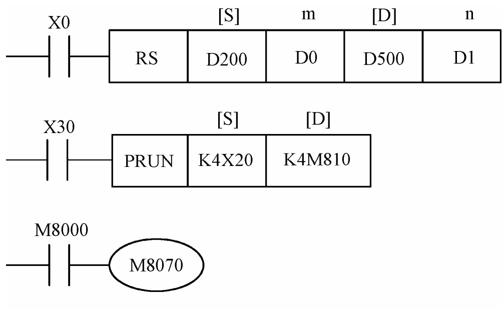


图 4-59　通信指令与并联运行指令

2．刷新和滤波时间常数调整指令（FNC51）

刷新和滤波时间常数调整指令 REFF（Refresh and Filter Adjust）用来刷新 FX1S 和 FX1N 系列的 X0～X7，或 FX2N 中 X0～X17 的输入映像寄存器被刷新，它们的滤波时间常数被设定为 1ms（$n = 1$）。

为了防止输入噪声的影响，输入端有 RC 滤波器，滤波时间常数约为 10ms，无触点的电子固态开头没有抖动噪声，可以高速输入。对于这一类输入信号，PLC 输入端的 RC 滤波器影响了高速输入的速度。FX 系列 PLC 的 X0～X17 输入端采用数字滤波器，滤波时间可用 REFF 指令加以调整，调节范围为 0～60ms，这些输入端也有 RC 滤波器，其滤波时间常数不小于 50μs。

3．矩阵输入指令（FNC52）

矩阵输入指令 MTR（Matrix）用连续的 8 点输入与连续的 n 点晶体管输出组成 n 行 8 列的输入矩阵，用来输入 $n \times 8$ 个开头量信号。指令处理时间为 $n \times 20$ms。如果用高速输入 X0～X17 作为输入点，则读入时间减半。

4．高速计数器指令

高速计数器（C235～C255）用来对外部输入的脉冲计数，高速计数器比较置位指令 HSCS 和高速计数器比较复位指令 HSCR 均为 32 位运算，源操作数[S1]可取所有的数据类型，[S2]为 C235～C255，目标操作数可取 Y、M 和 S。建议用 M8000 的常开触点来驱动高速计数器指令。

5．速度检测指令（FNC56）

速度检测指令 SPD（Speed Detect）用来检测在给定时间内从编码输入的脉冲个数，并计算出速度。

6．脉冲输出指令（FNC57）

脉冲输出指令 PLSY（Pulse Output）的源操作数[21]、[S2]可取所有的数据类型，[D]为 Y1 和 Y2，该指令只能使用一次。

PLSY 指令用于产生指定数量和频率的脉冲。[S1]指定脉冲频率（2～20 000Hz），[S2]

指定脉冲个数，16 位指令的脉冲数范围为 1～32 767，32 位指令的脉冲数范围为 1～2 147 483 647。若指定脉冲数为 0，则持续产生脉冲。[D]用来指定脉冲输出元件（只能用晶体管输出型 PLC 的 Y0 或 Y1）。脉冲的占空比为 50%，以中断方式输出。指定脉冲数输出完后，指令执行完成标志 M8029 置 1。图 4-60 中 X10 由 ON 变为 OFF 时，M8029 复位，脉冲输出停止；X10 再次变为 ON 时，脉冲重新开始输出。在发出脉冲串期间 X10 若变为 OFF，则 Y0 也变为 OFF。

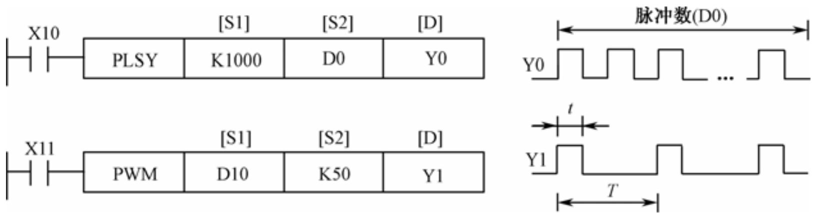


图 4-60　脉冲输出与脉宽调制指令

FX1S 和 FX1N 的输出率可达 100kHz，FX2N 和 FX2NC 为 20kHz。Y0 或 Y1 输出的脉冲个数可分别通过 D8140、D8141 或 D8142、D8143 监视，脉冲输出的总数可用 D8136、D8137 监视。

[S1]和[S2]中的数据在指令执行过程中可以改变，但[S2]中数据的改变在指令执行完之前不起作用。

7．脉宽调制指令（FNC58）

脉宽调制指令 PWM（Pulse Width Modulation）的源操作数和目标操作数的类型与 PLSY 指令相同，只能用于晶体管输出型 PLC 的 Y0 和 Y1，该指令只能使用一次。

PWM 指令用于产生指定脉冲宽度和周期的脉冲串，[S1]应小于[S2]，[D]用来指定输出脉冲的元件号（Y0 或 Y1），输出的 ON/OFF 状态用中断方式控制。

图 4-60 中 D10 的值从 0～50 变化时，Y0 输出脉冲的占空比从 0～1 变化，X11 变为 OFF 时，Y1 也为 OFF。

8．带加减速功能的脉冲输出指令（FNC59）

带加减速功能的脉冲输出指令 PLSR（PulseR）的源操作数和目标操作数的类型与 PLSY 指令相同，只能用于晶体管输出型 PLC 的 Y0 或 Y1，该指令只能使用一次。

用户需要指定最高频率、总的输出脉冲、加减速时间和脉冲的输出元件号（Y0 或 Y1），加减速的变速次数固定为 10 次。

4.6.10　方便指令

1．状态初始化指令（FNC60）

状态初始化指令 IST（Initial State）与 STL（步进梯形）指令一起使用，用于自动设置多种工作方式的系统的顺序控制编程。

2．数据搜索指令（FNC61）

数据搜索指令 SER（Data Serch）用于在数据表中查找指定的数据，可提供搜索到的符合条件的值的个数、搜索到的第一个数据在表中的序号、搜索到的最后一个数据在表中的序号，以及表中最大的数和最小的数的序号。

3．凸轮顺控指令

（1）绝对值式凸轮顺控指令（FNC62）

装在机械转轴上的编码器给 PLC 的计数器提供角度位置脉冲，绝对值式凸轮顺控指令 ABSD（Absolute Drum）可产生一组对应于计数值变化的输出波形，用来控制最多 64 个输出变量（Y、M 和 S）的 ON/OFF。

（2）增量式凸轮顺控指令（FNC63）

增量式凸轮顺控指令 INCD（Increment Drum）根据计数器对位置脉冲的计数值，实现对最多 64 个输出变量（Y、M 和 S）的循环顺序控制，使它们依次为 ON，并且同时只有一个输出变量为 ON。

4．定时器指令

（1）示教定时器指令（FNC64）

示教定时器指令 TTMR（Teaching Timer）的目标操作数[D]为 D，n=0～2。使用该指令可以用一只按钮调整定时器的设定时间。

图 4-61 中，示教定时器将按钮 X10 按下的时间乘以系数 10^n 后作为定时器的预置值，按钮按下的时间。（单位 ms）由 D301 记录，该时间（s）乘以 10^n 后存入 D300。设按钮按下的时间为 t，存入 D300 的值为 10^n*t，即 n=0 时存入 t，n=1 时存入 10t，n=2 时存入 100t。X10 为 OFF 时，D301 复位，D300 保持不变。

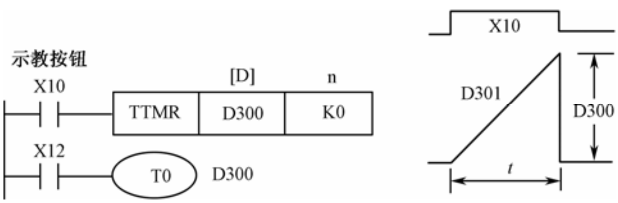


图 4-61　示教定时器

（2）特殊定时器指令（FNC65）

特殊定时器指令 STMR（Special Timer）的源操作数[S]为 T0～T199（100ms 定时器），目标操作数[D]可取 Y、S 和 M（M=1～32 767），只有 16 位运算。

特殊定时器指令用来产生延时断开定时器、单脉冲定时器和闪动定时器。M 用来指定定时器的设定值，图 4-62 中 T12 的设定值为 5s（m=50），M0 是延时断开定时器，M1 是 X2 由 ON→OFF 的单脉冲定时器，M2 和 M3 是为闪动而设的。

图 4-63 中 M3 的常闭触点接到 STMR 指令的输入电路中，使 M1 和 M2 产生闪动输出。X2 为 OFF 时，M0、M1 和 M2 在设定的时间后变为 OFF，T12 同时被复位。

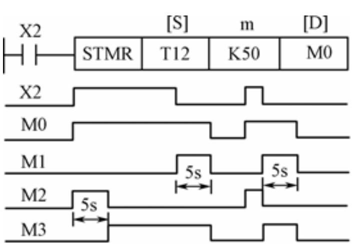


图 4-62　特殊定时器

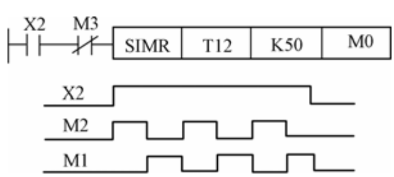


图 4-63　闪动定时器

5．其他方便指令

（1）交替输出指令（FNC66）

交替输出指令 ALT（Alternate）的目标操作数[D]可取 Y、M、S。

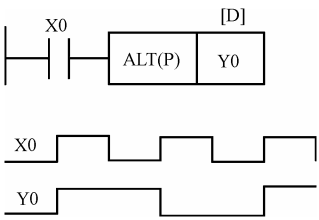


图 4-64　交替输出

每当图 4-64 中的 X0 由 OFF 变为 ON 时，Y0 的状态改变一次，若不用脉冲执行方式，则每个扫描周期 Y0 的状态都要改变一次。ALT 指令具有分频器的效果，使用 ALT 指令，用一只按钮 X0 就可以控制 Y0 对应的外部负载的启动和停止。

（2）斜坡信号输出指令（FNC67）

斜坡信号输出指令 RAMP（Ramp）与模拟量输出的结合可实现软启动和软停止。设置好斜坡输出信号的初始值和最终值后，执行该指令时输出数据由初始值逐渐变为最终值，变化的全过程所需的时间用扫描周期的个数来设置。

（3）旋转工作台控制指令（FNC68）

旋转工作台控制指令 ROTC 使工作台上被指定的工件以最短的路径转到出口位置。

（4）数据排序指令（FNC69）

数据排序指令 SORT（Sort）将数据按指定的要求以从小到大的顺序重新排列。

4.6.11　外部I/O设备指令

这部分指令共有十条，指令代码是 FNC70～FNC79，主要完成 PLC 通过一些简单的外部设备，进行数据输入和数据显示。另外还有两条指令，即 FROM 和 TO 指令，是 PLC 和特殊功能模块交换数据所用的。

1．10 键输入指令

10 键输入指令（Ten Key，简称 TKY）的源操作数可取 X、Y、M 和 S，目标操作数[D1]可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，[D2]可取 Y、M 和 S，16 位运算占 7 个程序步，32 位占 13 个程序步，详见表 4-18。本指令在程序中只能使用一次。

表 4-18　10 键输入指令参数说明表

指令名称	助记符	指令代码	操作数			程序步
			S	D1	D2	
10 键输入指令	TKY	FNC70	X、Y、M、S（用 10 个连号元件）	KnY、KnM、KnS、T、C、D、V、Z	Y、M、S（用 11 个连号元件）	TKY（16 位）…7 步 DTKY（32 位）…13 步

图 4-65 中，用 X0 作首元件，10 个键分别接在 X0～X11（其中 X8、X9 位为空，没有使用）上。以 1→2→3→4 的顺序按数字键 X2、X1、X3 和 X0。使用 16 位指令时，[D1]中存入数据 2 130。若送入的数大于 9 999，则高位数溢出并丢失，数据以二进制形式存于

D0。使用 32 位指令（D）TKY 时，D1 和 D2 组合使用，输入的数据大于 99 999 999 时，高位数据溢出。

因为指定[D2]为 M10，则按下 X2 后，M12 置 1 并保持至下一键被按下。按下 X1 后，M12 复位，M11 置 1 并保持至另一键被按下，其他健按下时也是如此。具体工作情况见图 4-66。M10～M19 的动作对应于 X0～X11（除 X8、X9 外）。任一键按下，键信号标志 M20 置 1，直到该键放开。两个或更多的键按下时，最先按下的键有效。X30 变为 OFF 时，D0 中的数据保持不变，但 M10～M20 全部变为 OFF。

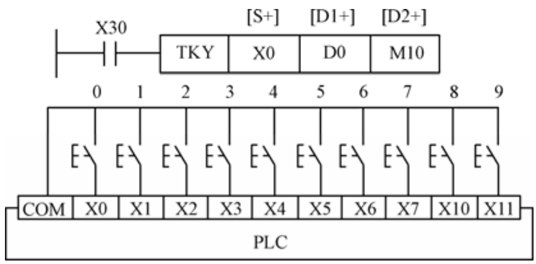


图 4-65　10 键输入接线图

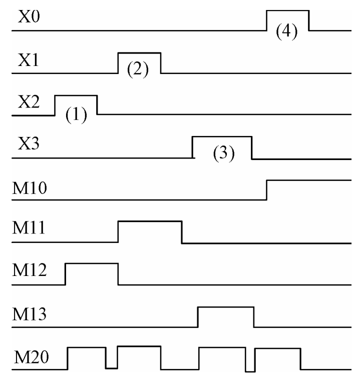


图 4-66　10 键输入波形图

2．16 键输入指令

16 键输入指令 HKY（Hex Decimal Key）的功能指令编号为 FNC71，源操作数为 X，目标操作数[D1]可取 Y，[D2]可取 Y、M 和 S，16 位运算占 9 个程序步，32 位占 17 个程序步。该指令在程序中只能使用一次。

HKY 指令是从键盘读入数字和功能的指令，A～F 键为功能键，其接线图如图 4-67 所示。

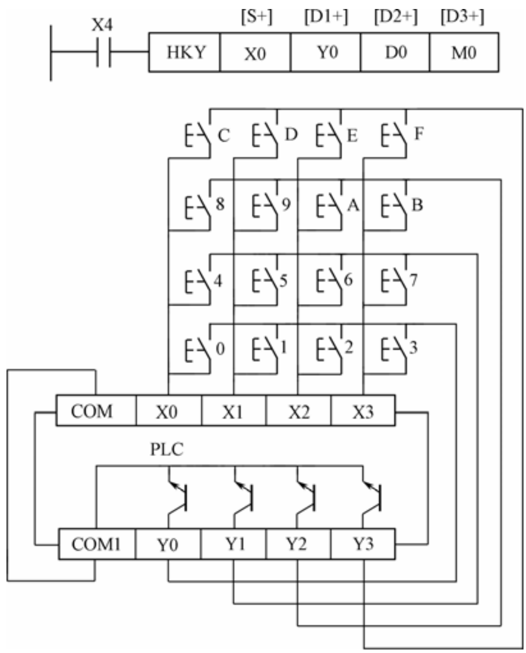


图 4-67　16 键输入接线图

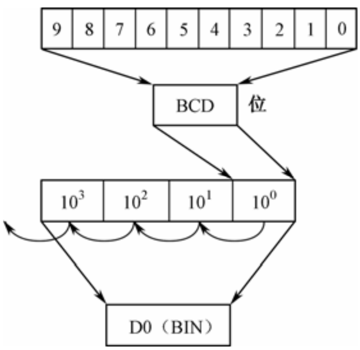


图 4-68　数字键的输入与存储

如图 4-68 所示，HEY 指令输入的数字 0～9 999 以二进制的方式存放在 D0 中，大于 9 999 时溢出。（D）HEY 指令可在 D0 和 D1 中存放数字 0～99 999 999。按下任意一个数字键时 M7 置 1（不保持），功能键 A～F 与 M0～M5 相对应，按下任意一个功能键时 M6 置 1（也不保持）。HEY 指令与可编程控制器的扫描定时器同步工作，键扫描完成需要 8 个扫描周期，为防止键输入的滤波延迟造成存储错误，最好使用恒定扫描方式及定时器中断处理。

3．数字开关指令

数字开关指令 DSW（Digital Switch）的功能指令编码为 FNC72，源操作数为 X，目标操作数[D1]可取 Y，[D2]可取 T、C、D、V 和 Z，只有 16 位运算，占 9 个程序步。该指令在程序中可使用两次。

DSW 指令是用来读入一组或两组 4 位 BCD 码数字拨码开关的设置值，占用 PLC 的 4 个或 8 个输入点和 4 个输出点。图 4-69 中的第一组 4 位 BCD 码数字开关接到 X10～X13，按 Y10～Y13 的顺序选通读入，数据以二进制的形式存放在 D0 中，n=2 时有两组数字开关，第二组开关接到 X14～X17，按 Y10～Y13 的顺序读入，数据以二进制的形式存放在 D1 中。

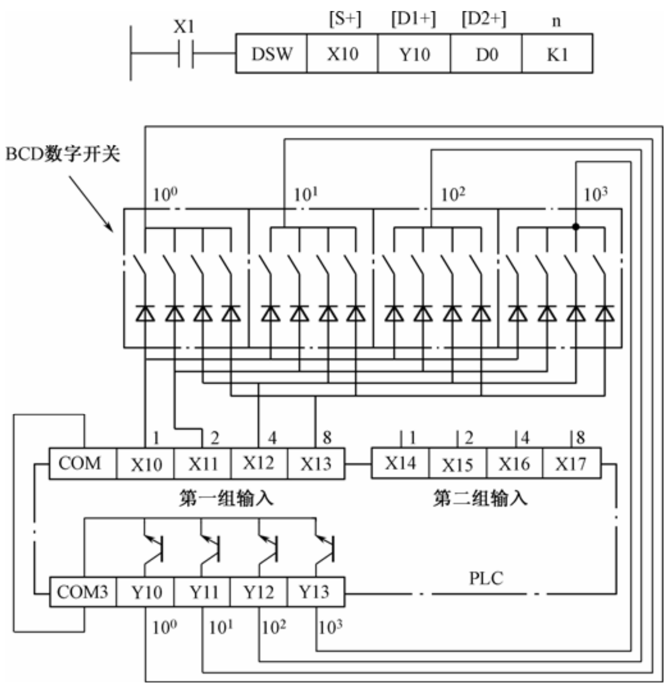


图 4-69　数字开关输入图

4．7 段译码指令

7 段译码指令 SEGD（Seven Segment Decode）的功能指令编码是 FNC73，源操作数可选所有的数据类型，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，只有 16 位运算，占 5 个程序步。

该指令将源操作数[S]指定元件低 4 位（只用低 4 位）中的十六进制数（0～FH）译码后送给 7 段显示器显示，译码信号存于目标操作数[D]指定的元件中，输出时占用 7 个输出点。

图 4-70 中 7 段显示器的 B0～B6 分别对应于目标操作数的第 0 位～第 6 位，某段亮时目标操作数中对应的位为 1，反之为 0。如显示数字“0”时，B0～B5 均为 1，B6 为 0，目标操作数的值为十六进制数 3FH。

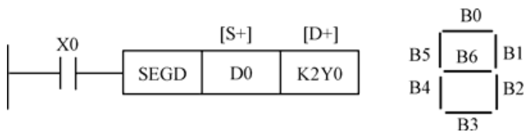


图 4-70　7 段译码指令

5．带锁存的 7 段显示指令

带锁存的 7 段显示指令 SEGL（Seven Segment with Latch）的功能指令编号为 FNC74。源操作数可选所有的数据类型，目标操作数可取 Y，只有 16 位运算，占 7 个程序步，*n*=0～7。该指令在程序中可使用两次。

SEGL 指令用 12 个扫描周期显示一组或两组 4 位数据，占用 8 个或 12 个晶体管输出点。图 4-71 中，如果使用一组输出（*n*=0～3），D0 中的数据转换为 BCD 码（0～9 999），依次送到 Y0～Y3；如果使用两组输出（*n*=4～7），D0 中的数据送到 Y0～Y3，D1 中的数据送到 Y10～Y13。

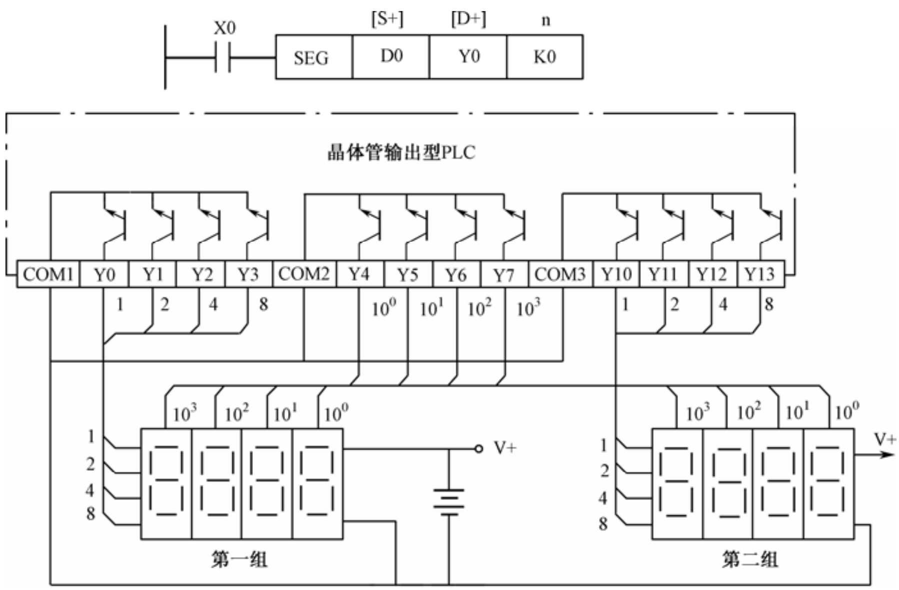


图 4-71　带锁存的 7 段显示接线图

6．方向开关指令

方向开关指令 ARWS（Arrow Switch）的功能指令编号为 FNC75，源操作数可取 X、Y、M 和 S，目标操作数[D1]可取 T、C、D、V 和 Z，[D2]可取 Y，只有 16 位运算，占 9 个程序步。该指令只能使用一次。

ARWS 指令用方向开关（4 个按钮）输入 4 位 BCD 数据，输入的数据可用带锁存的 7 段显示器显示。输入数据时用方向开关移动要修改和显示的位数，用加、减开关增、减该位的数据。该指令占用 4 个输入点和 8 个输出点，其工作过程如图 4-72 所示。

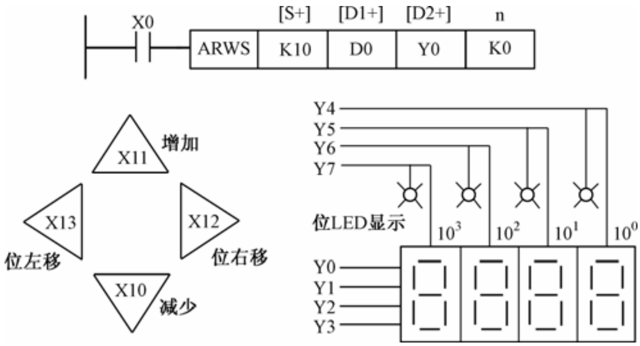


图 4-72　方向开关指令工作过程

7．ASCII码转换指令

ASCII 码转换指令 ASC（ASCII Code）的功能指令编号为 FNC76，源操作数是输入的 8 个字节以下的字母或数字，目标操作数为 T、C、D（均为 4 个连号的元件），只有 16 位运算，占 11 个程序步。该指令适用于外部显示单元显示出错信息等。

ASC 指令将最多为 8 个字符转换为 ASCII 码，并存放在指定的元件中。图 4-73 中的 X3 从 OFF 变为 ON 时，将 8 个字符转变后存放在目标元件 D300～D303 中。

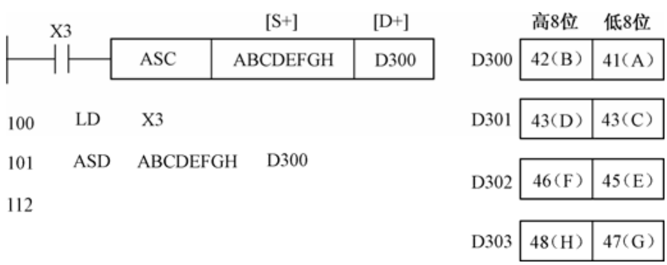


图 4-73　ASCII 码转换指令

8．ASCII码打印指令

打印指令 PR（Print）的功能指令编号为 FNC77，源操作数为 T、C 和 D，目标操作数为 Y，只有 16 位运算，占 5 个程序步。

PR 用于 ASCII 码的打印输出，PR 指令和 ASC 指令配合使用，可以用外部显示单元显示出错信息等。图 4-74 中的 PR 指令执行时，D300～D303 中的 8 个 ASCII 码送到 Y0～Y7 去打印，同时用 Y10～Y11 输出选通信号和执行标志信号。

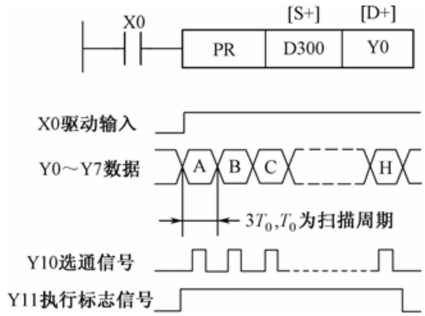


图 4-74　ASCII 打印指令

9．特殊功能模块指令

读特殊功能模块指令 FROM 的功能指令编号为 FNC78，目标操作数为 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z，16 位运算占 9 个程序步，32 位运算占 17 个程序步。

图 4-75 中的 X3 为 ON 时，将编号为 m1（0～7）的特殊功能模块内编号为 m2（0～32 767）开始的 *n* 个缓冲寄存器（BFM）的数据读入 PLC，并存入[D]开始的 *n* 个数据寄存器中。

m1 是特殊功能模块的编号，是接在 FX 系列 PLC 基本单元右边扩展总线上的功能模块，其编号依次为 0～7，即 m1=0～7。

m2 是特殊功能模块中缓冲器的首元件号，m2=0～32 767，32 位指令以双字节为单位传送数据，指定的 BFM 为低 16 位。

n 是待传送数据的字数，*n*=1～32（16 位操作）或 1～16（32 位操作）。

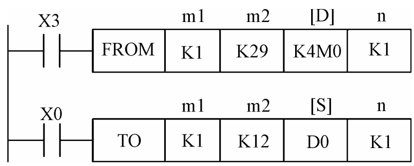


图 4-75　读/写特殊功能块

10．写特殊功能模块指令

写特殊功能模块指令 TO 的功能指令编号为 FNC79，源操作数可取所有的数据类型，m1、m2、*n* 的取值范围与读特殊功能模块指令相同。

图 4-75 中的 X0 为 ON 时，将 PLC 基本单元中从[S]指定元件开始的 *n* 个字的数据写到编号为 m1 的特殊功能模块中编号 m2 开始的 *n* 个缓冲寄存器中。

M8028 为 ON 时，在 FROM 和 TO 指令执行过程中，禁止中断；在此期间发生的中断在 FROM 和 TO 指令执行完成后执行。M8028 为 OFF 时，在 FROM 和 TO 指令执行过程中，不禁止中断。

4.6.12　FX系列外部设备指令

FX 系列外部设备指令（FNC80～FNC89）包括与串行通信有关的指令、模拟量功能扩展板处理指令和 PID 运算指令。

1．串行通信指令（FNC80）

如图 4-76 所示，串行通信指令 RS（RS0-232C）的源操作数和目标操作数为 D，*m* 和 *n*（1～255，FX2N 为 1～4 096）可使用常数和 D。该指令是通信用的功能扩展板发送和接收串行数据的指令。[S]和 *m* 用来指定发送数据缓冲区的首地址和数据寄存器的个数，[D]和 *n* 用来指定接收数据缓冲区的首地址和数据寄存器的个数。数据的传送格式（如数据位数、奇偶校验位、停止位、波特率、是否有调制解调等）可以用初始化脉冲和 MOV 指令写入串行通信用的特殊数据寄存器 D8120，具体的使用方法参见编程手册。

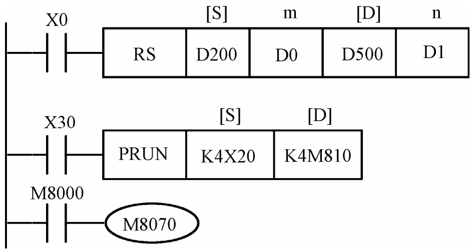


图 4-76　串行通信指令与并联运行指令

2．并联运行指令（FNC81）

并联运行指令 PRUN（Parallel Run）的源操作数可取 KnX、KnM，目标操作数可取 KnY、KnM，*n*=1～8，指定元件号的最低位为 0。

PRUN 指令用于控制 FX 的并行链接适配器 FX2-40AW/AP，它将源数据传送到位发送区，并行链接通信用特殊 M 标志控制。当两台 FX PLC 已经“链接”，并且分别设置了主站标志（M8070 ON）和从站标志（M8071 ON），并行链接通信将自动进行，从站不需要为通信使用 PRUN 指令。主站和从站中应分别用 M8000 的常开触点驱动 M8070 和 M8071 的线圈，该指令只能链接两台相同型号的 FX 系列 PLC。一旦设置了站标志，它们只能在 PLC 进入 STOP 模式或上电时被清除。

在通信期间，主 PLC 和从 PLC 之间自动交换的数据如表 4-19 所示。

表 4-19　并行链接通信交换数据

主站（M8070 ON）	通信方向	从站（M8071 ON）
M800～899（100 点）	→	M800～899（100 点）
M900～999（100 点）	←	M900～999（100 点）
D490～499（10 个字）	→	D490～499（10 个字）
D500～509（10 个字）	←	D500～509（10 个字）

PRUN 将数据送入位发送区或从位接收区读出。传送时元件的地址为八进制数，这意味着用 PRUN 指令将 16 个输入点 K4X20（X20～X27 和 X30～X37）送给发送缓冲区中的 K3M810（M810～M817 和 M820～M827）时，数据不会写入 M818 和 M819，因为它们不属于八进制计数系统。

3．HEX→ASCII码转换指令（FNC82）

HEX→ASCII 码转换指令 ASCI 将十六进制数（HEX）转换为 ASCII 码。M8161 为 OFF 时为 16 位模式，每 4 个十六进制数占一个数据寄存器，转换后每两个 ASCII 码占一个数据寄存器，转换的字符个数由 *n* 指定，*n*=1～256。M8161 为 ON 时指令为 8 位模式，转

换后的每一个 ASCII 码传送给目标操作数的低 8 位，其高位为 0。

4．ASCII→HEX转换指令（FNC83）

M8161 为 OFF 时为 16 位模式，ASCII→HEX 转换指令 HEX 将最多 256 个 ASCII 码转换为 4 位 HEX 数，每两个 ASCII 码占一个数据寄存器，每 4 个 ASCII 码转换后的 HEX 占一个数据寄存器。M8161 为 ON 时为 8 位模式，只转换源操作数低字节中的 ASCII 码。

5．校验码指令（FNC84）

校验码指令 CCD（Check Code）与串行通信指令 RS 配合使用，它将[S]指定的字节堆栈中最多 256 字节的 8 位二进制数据分别求和与“异或”（异或又称为垂直奇偶校验），将累加和存入目标操作数 D，异或值存入 D+1 中。通信时可将求和与异或的结果随同数据发送出去，对方收到后对接收到的数据也作同样的求和与异或运算，并判别接收到的求和与异或的结果是否等于求出的结果，若不等则说明数据传送出错。

6．FX-8AV模拟量功能扩展板处理指令（FNC85）

模拟量功能扩展板读出指令 VRRD（Variable Resistor Read）的源操作数[S]为常数 0～7，用来指定模拟量的编号，目标操作数可取 KnY、KnM、KnS、T、C、D、V 和 Z。

FX2N-8AV-BD 是内置式 8 位 8 路模拟量功能扩展板，板上有 8 个小型电位器，用 VRRD 指令读出的数据（0～255）与电位器的角度成正比。图 4-77 中 X0 为 ON 时，读出 0 号模拟量的值（[S]=0），送到 D0 后作为定时器 T0 的设定值。也可以用乘法指令将读出的数乘以某一系数后作为设定值。

7．FX-8AV模拟量功能扩展板开关设定指令（FNC86）

模拟量功能扩展板开关设定指令 VRSC（Variable Resistor Scale）的源操作数和目标操作数与模拟量功能扩展板读出指令的操作数一样。

VRSC 指令将电位器读出的数四舍五入，整量化为 0～10 的整数值，存放在[D]中，这时电位器相当于一个有 11 挡的模拟开关。图 4-78 用模拟开关的输出值和解码指令 DECO 来控制 M0～M10，用户可以根据模拟开关的刻度 0～10 来分别控制 M0～M10 的 ON/OFF。

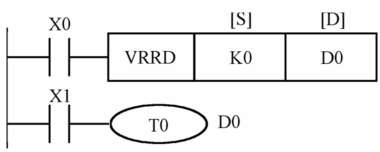


图 4-77　VRRD 指令

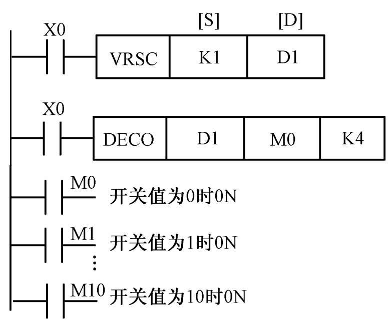


图 4-78　VRSC 指令

8．PID回路运算指令（FNC88）

PID（比例－积分－微分）回路运算指令用于模拟量闭环控制。PID 运算所需的参数存放在指令指定的数据区内。

4.6.13　浮点数运算指令

浮点数运算指令包括浮点数的比较、变换、四则运算、开平方和三角函数等，浮点数为 32 位数，FNC110～FNC127 均为 32 位指令。

1．浮点数比较指令（FNC110）

浮点数比较指令 ECMP 的源操作数[S1]和[S2]可取 K、H 和 D，目标操作数为 Y、M 和 S，占用连续的 3 个元件。

ECMP 指令用来比较源操作数[S1]和[S2]，比较结果用目标操作数指定的元件 ON/OFF 状态表示（见图 4-79）。常数参与比较时，被自动转换为浮点数。

2．浮点数区间比较指令（FNC111）

浮点数区间比较指令 EZCP 的源操作数[S1]、[S2]和[S3]可取 K、H 和 D，目标操作数为 Y、M 和 S，占用连续的 3 个元件，[S1]应小于[S2]。

[S3]指定的浮点数与作为比较范围的源操作数[S1]和[S2]相比较，比较结果用目标操作数指定的元件 ON/OFF 的状态表示（见图 4-80）。参与比较的常数被自动转换为浮点数。

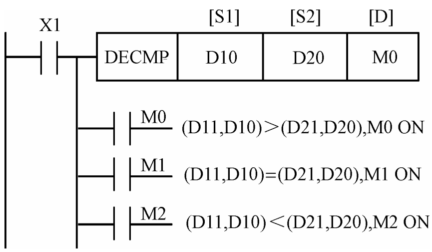


图 4-79　浮点数比较指令



图 4-80　浮点数区间比较指令

3．浮点数转换为科学计数法格式的数（FNC118）

浮点数转换为科学计数法格式的数指令 EBCD 的源操作数[S]和目标操作数[D]均为 D。指令之前的“D”表示双字指令。为了保证转换的精度，尾数在 1 000～9 999 之间（或等于 0）。例如，设 S=3.456 7×10^{-5} 时，转换后 D50=3 456，D51=–8。

4．科学计数法格式的数转换为浮点数（FNC119）

科学计数法格式的数转换为浮点数指令（D）EBIN 的源操作数[S]和目标操作数[D]均为 D。该指令将源操作数指定单元内的科学计数法格式的数转换为浮点数，并存入目标地址。为了保证转换的精度，科学计数法格式的数的尾数应在 1 000～9 999 之间（或等于 0）。

5．浮点数转换为二进制整数（FNC49）

浮点数转换为二进制整数指令 INT 的源操作数[S]（32 位）和目标操作数[D]均为 D，16 位或 32 位运算时目标操作数分别为 16 位或 32 位。

该指令将源操作数指定的浮点数舍去小数部分后转换为二进制整数，并存入目标地址。该指令是 FNC49（FLT）指令的逆运算，运算结果为 0 时，零标志 M8020 为 ON；因转换结果不足 1 而舍掉时，借位标志 M8021 为 ON；如果运算结果超出目标操作数的范围，将会发生溢出，进位标志 M8022 为 ON，此时目标操作数中的值无效。

6．浮点数的加法指令（FNC120）与减法指令（FNC121）

浮点数加法指令 EADD 将两个源操作数内的浮点数相加，运算结果存入目标操作数，如图 4-81 所示。

浮点数减法指令 ESUB 将[S1]指定的浮点数减去[S2]指定的浮点数，运算结果存入目标操作数[D]（见图 4-81）。

7．浮点数的乘法指令（FNC122）与除法指令（FNC123）

浮点数乘法指令 EMUL 将两个源操作数内的浮点数相乘，运算结果存入目标操作数[D]（见图 4-81）。

浮点数除法指令 EDIV 将[S1]指定的浮点数除以[S2]指定的浮点数，运算结果存入目标操作数[D]（见图 4-81）。除数为零时出现运算错误，不执行指令。

8．浮点数开平方指令（FNC127）

浮点数开平方指令 ESQR 的源操作数[S]为 K、H 和 D，目标操作数[D]为 D。[S]指定的浮点数被开方，结果存入目标操作数。源操作数应为正数，若为负数则出错，运算错误标志 M8067 为 ON，不执行指令（见图 4-82）。

9．浮点数三角函数运算指令

浮点数三角函数运算指令包括 SIN（正弦）、COS（余弦）和 TAN（正切）指令，应用指令编号分别为 FNC130～FNC132，均为 32 位指令，源操作数[S]和目标操作数[D]为 D。

这些指令用来求出源操作指定的浮点数的三角函数，角度单位为弧度，结果也是浮点数，并存入目标操作数指定的单元（见图 4-82）。源操作数满足 0≤角度≤2π，弧度值=π×角度值/180°。

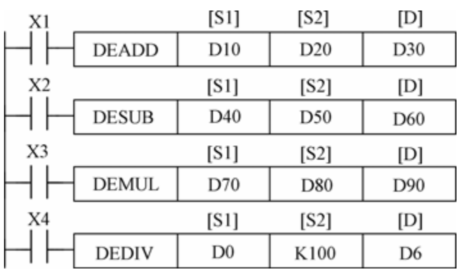


图 4-81　浮点数四则运算

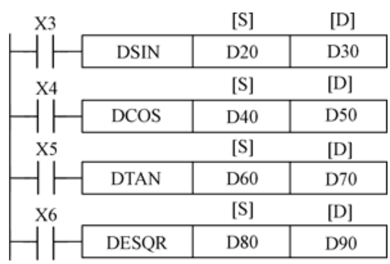


图 4-82　浮点数三角函数与开平方指令

4.6.14　时钟运行指令

1．时钟数据比较指令（FNC160）

时钟数据比较指令 TCMP（Time Compare）的源操作数[S1]、[S2]和[S3]用来存放指定时间的时、分、秒，可取任意的数据类型，[S]可取 T、C 和 D，目标操作数[D]为 Y、M、S，占用 3 个连续的元件。该指令用来比较指定时刻与时钟数据的大小。时钟数据的时间存放在[S]～[S]+2 中，比较的结果用来控制[D]～[D]+2 的 ON/OFF（见图 4-83）。

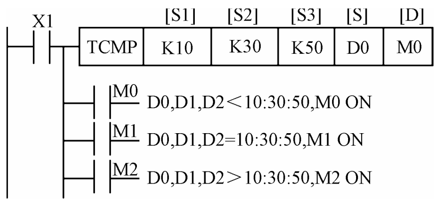


图 4-83　时钟数据比较指令

2．时钟数据区间比较指令（FNC161）

时钟数据区间比较指令 TZCP（Time Zone Compare）的源操作数[S1]、[S2]、[S]可取 T、C、D，要求[S1]≤[S2]，目标操作数[D]为 Y、M、S，占用 3 个连续的元件，只有 16 位运算。[S]中的时间与[S1]、[S2]指定的时间区间相比较，比较的结果用来控制[D]～[D]+2 的 ON/OFF（见图 4-84）。[S1]、[S2]和[S]分别占用 3 个数据寄存器，图 4-84 中的 D20～D22 分别用来存放时、分、秒。



图 4-84　时钟数据区间比较指令

3．时钟数据加法指令（FNC162）

时钟数据加法指令 TADD（Time Addition）的[S1]、[S2]和[D]中存放的是时间数据（时、分、秒），[S1]、[S2]和[D]可取 T、C、D。图 4-85 中，TADD 指令将 D10～D12 和 D20～D22 的时钟数据相加后存入 D30～D32 中。运算结果如果超过 24h，进位标志为 ON，其和减去 24h 后存入目标地址。

4．时钟数据减法指令（FNC163）

图 4-85 中，时钟数据减法指令 TSUB（Time Subtraction）将 D40～D42 和 D50～D52 的时钟数据相减后存入 D60～D62 中。运算结果若小于零，借位标志为 ON，其差值加上 24h 后存入目标地址。

5．时钟数据读出指令（FNC166）

时钟数据读出指令 TRD（Time Read）的目标操作数[D]可取 T、C 和 D，只有 16 位运算。该指令用来读出内置的实时钟的数据，并存放在[D]开始的 7 个字内，实时钟的时间数据存放在特殊数据寄存器 D8013～D8019 内，D8018～D8013 中分别存放年、月、日、时、分和秒，星期存放在 D8019 中。图 4-86 中 X3 为 ON 时，D8018～D8013 中存放的 6 个时钟数据读入 D0～D5，D8019 中的星期值读入 D6。

6．时钟数据写入指令（FNC167）

时钟数据写入指令 TWR（Time Write）的[S]可取 T、C 和 D，只有 16 位运算。该指令用来将时间设定值写入内置的实时钟，写入的数据预先放在[S]开始的 7 个单元内。执行该指令时，内置实时钟的时间立即变更，改为使用新的时间。图 4-86 中的 D10～D15 分别存

放年、月、日、时、分和秒，D16 存放星期，X4 为 ON 时，D10～D15 中的预置值分别写入 D8018～D8013，D16 中的值写入 D8019。

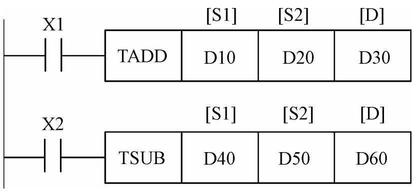


图 4-85　时钟数据加、减法指令

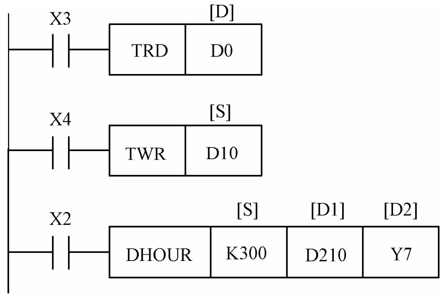


图 4-86　实时钟指令

7．小时定时器指令（FNC169）

在小时定时器指令 HOUR 中，[S]可选所有的数据类型，它是使报警器输出[D2]（可选 Z、Y、M、S）为 ON 所需的延时时间（小时），[D1]为当前的小时数，为了在 PLC 断电时也连续计时，应选有电池后备的数据寄存器。[D1]+1 是以 s 为单位的小于 1 小时的当前值。

在[D1]超过[S]时，如在 300 小时零 1 秒时，图 4-86 中的报警输出[D2]（Y7）变为 ON。D2 为 ON 后，小时定时器继续运行。其值达到 16 位（HOUR 指令）或 32 位（DHOUR 指令）数的最大值时停止定时。如果需要再次工作，应清除[D1]和[D1]+1（16 位指令）或[D1]～[D1]+2（32 位指令）。

4.6.15　其他指令

1．FX1S和FX1N的定位控制指令

定位控制采用两种位置检测装置，即绝对位置编码器和增量式编码器。前者输出的是绝对位置的数字值，后者输出的脉冲个数与位置的增量成正比。定位控制用晶体管输出型的 Y0 和 Y1 输出的脉冲来控制步进电机。

读当前绝对值指令 DABS（Absolute Current Value Read，FNC155）用来读取绝对位置数据。

回零指令 ZRN（Zero Return，FNC156）在开机或初始设置时使机器返回原点。

PLSV 是带方向输出的变速脉冲输出指令（FNC157），输出脉冲的频率可在运行中修改。

增量式单速定位指令 DRVI（FNC158）用于增量式定位控制，可指定脉冲个数和脉冲频率。绝对式单速定位指令 DRVA（FNC159）是使用零位和绝对位置测量的定位指令。

2．格雷码变换指令（FNC170）

格雷码常用于光电码盘编码器，其特点是相邻的两个数（用二进制数表示）的各位中，只有一位的值不同。格雷码变换指令 GRY（Gray Code）将源数据（二进制数）转换为格雷码并存入目标地址；格雷码逆变指令 GBIN（Gray Code to Binary）将从格雷码编码器输入的数据转换为二进制数。

3．读写FX 0N-3A指令（FNC176，FNC177）

RD3A 指令 GBIN 用于读取模拟量块 FX 0N-3A 的值，WR3A 指令用于将数据写入模拟量模块 FX 0N-3A。

4.7 PLC应用系统的设计调试方法

PLC 已广泛地应用在工业控制的各个领域，由于 PLC 的应用场合多种多样，随着 PLC 自身功能不断增强，PLC 应用系统越来越复杂，对 PLC 应用系统设计人员的要求也越来越高。PLC 应用系统设计流程如图 4-87 所示，如果输入/输出量较多，建议先作硬件设计，再作软件设计，这样有利于编程元件地址的统筹安排。下面按图 4-87 所示的流程对 PLC 应用系统的设计进行介绍。



图 4-87　PLC 应用系统设计流程图

4.7.1　系统规划与设计

1．系统规划

系统规划是应用系统设计的关键阶段，规划得不好，在应用系统设计和施工中就会遇到很多困难，下面讨论系统规划中的一些基本问题。

（1）明确设计目的

设计一个新系统，希望它能干什么？如果对现有的系统进行技术改造，它现在能干什么？改造完之后希望它能干什么？

（2）详细了解系统的功能与要求

应详细了解被控对象的全部功能，如机械部件的动作顺序、动作条件、必要的保持与联锁，系统要求哪些工作方式（如手动、自动、半自动、单步等），设备内部机械、液压、气动、仪表、电气几大系统之间的关系，PLC 与其他智能设备（如别的 PLC、计算机、变频器等）之间的关系，PLC 是否需要通信联网，是否需要设置远程 I/O，需要显示哪些数据及显示的方式，电源突然停电及紧急情况的处理，安全电路的设计，是否需要设置 PLC 之外的手动的或机电的连锁装置来防止危险的操作。

还应了解系统的运行环境、运行速度、加工精度、可重复性、成本的限制和工期要求等。可与和该设备或系统有关的工艺、机械方面的技术人员、运行人员和维修人员进行交流，获得全面的信息。

（3）查阅技术文档

如果对现有设备进行改造，可以参阅有关的文件资料，如设计图、原理图和继电器电路图等，在设计新系统时可参考系统的工艺流程图、原理图和机械图等。

2．系统设计

在完成系统规划的基础上进行系统设计。系统设计是指对控制系统总体方案的设计，主要解决人机接口和通信方面的问题。

（1）人机接口的选择

人机接口用于操作人员与 PLC 之间的信息交换。使用单台 PLC 的小型开关量控制系统一般用指示灯、报警器、按钮和操作开关来作人机接口。PLC 本身的数字输入和数字显示功能较差，可以用 PLC 的开关量 I/O 点来实现数字的输入和显示。为了减少占用的 I/O 点数，有的 PLC 厂家设计了有关的应用指令，如三菱 FX 系列 PLC 的 7 段显示指令、方向开关指令、16 键输入指令、数字开关（即拨码开关）输入指令等。这些指令简化了编程，但是需要用户自制硬件。

为了实现小型 PLC 的低成本数据输入和显示，有的 PLC 厂家推出了价格便宜的产品，如三菱公司的 FX-1N-5DM 微型显示模块可以监视和修改 PLC 的内部数据，商家在网上的报价仅 300 多元。西门子公司的 TD 200 文本显示器可显示 20 个汉字或 40 个字符，可用编程软件方便地设置显示内容，可用它修改用户程序中的变量，网上报价 900 元左右。

对于要求较高的大中型控制系统，可选用较高档的操作员接口（或称可编程终端），有的只能显示字符，有的可以显示单色或彩色的图形，有的带有触摸键功能（俗称触摸屏）。这类产品可用于工业现场，工作可靠，它们有专用的组态软件，可以方便地生成各种画面，但是价格较高，如 10.4in 16 色触摸屏的价格在万元以上。

也可以用计算机来作人机接口，普通台式机的价格便宜，但是对工作环境的要求较高，可在控制室内使用。如果要求将计算机安装在现场的控制屏内，一般应选用价格较高、使用液晶显示器的工业控制计算机，有的显示器也有触摸键功能。

上述计算机的程序可以用 VC、VB 等软件来开发，也可以用组态软件来生成控制系统的监控程序。用组态软件可以很容易地实现计算机与现场工业设备（如 PLC）的通信，生成用户需要的有动画功能和各种人机接口的画面，组态软件的入门也很容易。但是组态软件的价格较高，一套软件只能使用一次。

（2）系统的冗余设计

某些生产过程必须连续不断地进行，因此要求控制装置有极高的可靠性，在 PLC 出现故障时，也不允许停止生产，这种系统可以使用有冗余控制功能的 PLC。冗余控制系统一般采用 2 个或 3 个 CPU 模块，其中一个直接参与控制，其余的作为备用。参与控制的 CPU 出现故障时，立即投入备用 CPU。为了进一步提高系统的可靠性，某些重要的 I/O 模块、通信模块和通信电缆也应采取冗余措施。

4.7.2　PLC及其组件的选型

1．PLC的型号选择

在确定 PLC 的型号时，应考虑以下问题。

（1）PLC 的硬件功能

开关量控制是 PLC 的基本功能，对于开关量控制系统，主要需考虑 PLC 的最大开关量

I/O 点数是否能满足系统的要求。

某些系统对 PLC 的功能有特殊要求，如通信联网、PID 闭环控制、快速响应、高速计数和运动控制等，模块式 PLC 应考虑是否有相应的特殊功能模块。有的整体式 PLC 集成有调整计数器、高速脉冲输出、模拟量调节电位器、脉冲捕捉、实时时钟等功能和中断功能。对于有模拟量输入/输出的系统，需要考虑 PLC 的最大模拟量 I/O 点数是否能满足要求，每个模块的点数和平均每点的价格。

（2）PLC 指令系统的功能

对于小型单台仅需要开关量控制的设备，一般的小型 PLC 便可以满足要求。如果系统要求 PLC 完成某些特殊的功能，应考虑 PLC 的指令系统是否有相应的指令来支持。例如，使用 RS-232C 无协议通信方式时，需要对传送的数据按字节作求和校验或异或校验，应考虑是否有专用的求检验码的指令，如三菱 FX 系列的 CCD 指令，如果没有专用指令，应考虑是否可以用通用指令来实现这一任务。

（3）PLC 物理结构的选择

根据物理结构，可以将 PLC 分为整体式和模块式，整体式 PLC 每一 I/O 点的平均价格比模块式的便宜，在小型控制系统中一般采用整体式 PLC。但是模块式 PLC 的功能扩展方便灵活，I/O 点数的多少、输入点数与输出点数的比例、I/O 模块的种类和块数、特殊 I/O 模块的使用等方面的选择余地都比整体式 PLC 大得多，维修时更换模块、判断故障范围也很方便，因此较复杂的、要求较高的系统一般选用模块式 PLC。

（4）确定输入/输出（I/O）点数

PLC 的 CPU 模块型号的选择，I/O 模块的数量和型号的选择，与输入/输出点数有很大关系。应确定哪些信号需要输入 PLC，哪些负载由 PLC 驱动，是开关量还是模拟量，是直流量还是交流量，以及电压的等级；是否有特殊要求，如快速响应等，并建立相应的表格。如果系统不同部分相互距离很远，可考虑使用远程 I/O。

（5）估算需要的用户程序存储容量

根据 I/O 点的点数和下面的经验数据可初步估算系统对 PLC 用户程序存储容量的要求。

仅需开关量控制时，将 I/O 点数乘以 8，就是所需的存储器字数。仅有模拟量输入、无模拟量输出时，为每路模拟量准备 100 个存储器字。既有模拟量输入、又有模拟量输出时，为每路模拟量准备 200 个存储器字。有的 PLC 允许用存储器来增加用户存储器的容量。

2．I/O模块的选型

PLC 的型号选好后，根据 I/O 表和可供选择的 I/O 模块的类型，可确定 I/O 模块的型号和块数。选择 I/O 模块时，I/O 点数一般应留有 10%～20%的余量，以备今后系统改进或扩充时使用。

（1）开关量输入模块输入电压的选择

开关量输入模块的输入电压一般为 DC 24V 和 AC 220V。直流输入电路的延迟时间较短，可以直接与接收开关、光电开关等电子输入装置连接。交流输入方式适合于在有油雾、粉尘的恶劣环境下使用，在这种条件下交流输入触点的接触较为可靠。

（2）开关量输出模块的选择

继电器型输出模块的工作电压范围广，触点的导通压降小，承受瞬时过电压和过电流的能力较强，但是动作速度较慢，角点寿命（动作次数）有一定的限制。如果系统的输出信号很频繁，建议优先选用继电器型的输出模块。

晶体管型与双向晶闸管型输出模块分别用于直流负载和交流负载，它们的可靠性高，

反应速度快，寿命长，但是过载能力稍差。

选择时应考虑负载电压的种类和大小、系统对延迟时间的要求、负载状态是否频繁等，还应注意同一输出模块对电阻性负载、电感性负载和白炽灯的驱动能力的差异。如果继电器型模块的最高工作电压为 AC 250V，可驱动 2A 的电阻性负载、80VA 的电感性负载和 100W 的白炽灯。

输出模块的输出电流额定值应大于负载电流的最大值，大多数模块对每组的总输出电流也有限制，如 0.5A/点、0.8A/4 点。

（3）选择 I/O 模块还需考虑的其他问题

① 输入模块的输入电路应与外部传感器的输出电路类型配合，使二者能直接相连。例如，有的 PLC 的输入模块只能与 NPN 管集电极开路输出的传感器直接相连，如果选用 NPN 管发射极输出的传感器，则需要在二者之间增加转换电路。

② PLC 的模拟量输入、输出是电压还是电流，变送器、执行机构的量程与模拟量输入、输出模块的量程是否匹配。

模拟量模块的 A/D、D/A 转换器的位数反映了模块的分辨率，8 位的分辨率低，价格便宜，12 位的则反之。模拟量模块的转换时间反映了模块的工作速度。

③ 成本方面的考虑。选择某些高密度 I/O 模块（如 32 点开关量 I/O 模块），可以降低系统成本，但是高密度模块一般用 D 型插座来连接 I/O 线，不如普通 I/O 模块的接线端子那样方便。

④ 响应时间和抗干扰能力。I/O 模块有不同的响应时间和抗干扰能力，一般来说，更高的响应速度将会牺牲干扰抑制能力。因此，如果高的响应速度不是必需的，选择有更高的干扰抑制能力但是较慢的 I/O 模块会更好。

⑤ 高速输入。高速计数器可对编码器提供的高速脉冲列计数，可提供与 PLC 的扫描工作方式无关的高速输出。

3．模块式PLC的基板与模块的选择

（1）基板的选择

模块式 PLC 通过基板将模块组成一个系统（称为机架），选型时主要考虑基板支持的 I/O 模块数量。

（2）电源模块的选择

根据系统所选取的模块型号、数量和各模块对电源的需求，确定要求的电源供电容量和输出电压等级，在 PLC 可供选择的电源模块中选择电源模块的型号。

（3）通信模块的选择

应根据通信接口的点数、PLC 和通信模块支持的通信距离、通信速率、有关的通信协议和标准选择通信模块。

4.7.3　硬件、软件设计与调试

1．系统硬件设计与组态

① 给各输入、输出变量分配地址。因为梯形图中变量的地址与 PLC 的外部接线端子号是一致的，这一步既给绘制硬件接线图做好了准备，也为梯形图的绘制做好了准备。

② 画出 PLC 的外部硬件接线图，以及其他电气原理图和接线图。

③ 画出操作站和控制柜面板的机械布置图和内部的机械安装图。

④ 在某些编程软件中，需要对模块式 PLC 的硬件组态，组态画面中的模块型号和安装位置应与实际的模块一样，此外还需要设置各模块的参数。

有的模块需要用模块上的 DIP 开关来完成模块的硬件组态，如设置通信的地址和通信参数等。

2．软件设计

软件设计包括系统初始化程序、主程序、子程序、中断程序、故障应急措施和辅助程序的设计等，小型开关量控制系统一般只有主程序。

首先应根据总体要求和控制系统的具体情况，确定用户程序的基本结构，画出程序流程图或开关量控制系统的顺序功能图。它们是编程的主要依据，应尽可能地准确和详细。

较简单的系统的梯形图可以用经验法设计，复杂的系统一般用顺序控制设计法设计。画出系统的顺序功能图后，根据它设计出梯形图程序。有的编程软件可以直接用顺序功能图语言来编程。

在编程软件中，可给用户程序中的各个变量命名，变量名称可在梯形图中显示出来，便于程序的阅读和调试，变量名称的定义要简短、明确。

3．软件的模拟调试

设计好用户程序后，一般先作模拟调试。有的 PLC 厂家提供了在计算机上运行、可以用来代替 PLC 硬件来调试用户程序的仿真软件，如西门子公司的与 STEP 7 编程软件配套的 S7-PLCSIM 仿真软件、三菱公司的与 SW3D5C-GPPW-C 编程软件配套的 SW3D5C-LLT-C 仿真软件，西门子的“LOGO！”可编程逻辑模块的编程软件也有仿真功能。在仿真时可按照系统功能的要求，将某些输入元件强制为 ON 或 OFF，或改写某些元件中的数据，监视系统功能是否能正确实现。

有 PLC 的硬件，可用小开关和按钮来模拟 PLC 实际的输入信号。例如，用它们发出操作指令，或在适当的时候用它们来模拟实际的反馈信号，如限位开关触点的接通和断开。通过输出模块上各输出位对应的发生二极管，观察输出信号是否满足设计的要求。

调试顺序控制程序的主要任务是检查程序的运行是否符合顺序功能图的规定，即在某一转换实现时，是否发生步的活动状态的正确变化，该转换所有的前级步是否变为不活动步，所有的后续步是否变为活动步，以及各步被驱动的负载是否发生相应的变化。

在调试时应充分考虑各种可能的情况，对系统各种不同的工作方式、顺序功能图中的每一条支路、各种可能的进展路线，都应逐一检查，不能遗漏。发现问题后及时修改程序，直到在各种可能的情况下输入信号与输出信号之间的关系完全符合要求。

对于用经验法设计的电路，或根据继电器的电路图设计的电路，为了调试程序方便，有时需要根据用户程序画出对应的顺序功能图，用它来调试程序。

如果程序中某些定时器或计数器的设定值较大，为了缩短调试时间，可以在调试时将它们减小，模拟调试结束后再写入其实际设定值。

在编程软件中，可用梯形图来监视程序的运行，触点和线圈的 ON/OFF 状态用不同的颜色表示；也可以用元件监视功能来监视、改写或强制感兴趣的编程元件。

4．硬件调试与系统调试

在对程序进行模拟调试的同时，可以设计、制作控制屏，PLC 之外其他硬件的安装、接线工作也可以同时进行。完成控制屏内部的安装接线后，应对控制屏内的接线进行测试。可在控制屏的接线端子上模拟 PLC 外部的开关量输入信号，或操作控制屏面板上的按钮和

指令开关，观察对应 PLC 输入点的状态变化是否正确。用编程器或编程软件将 PLC 的输出点强制为 ON 或 OFF，观察对应控制屏内的 PLC 负载（如外部的继电器、接触器）是否正常，或对应控制屏接线端子上输出信号的状态变化是否正确。

对于有模拟量输入的系统，可给屏内的变送器提供标准的输入信号，通过硬件调整或调节程序中的系数，使模拟量输入信号和转换后的数字量之间的关系满足要求。

在现场安装好控制屏后，接入外部的输入元件和执行机构。与控制屏内的调试类似，首先检查控制屏外的输入信号是否能正确地送到 PLC 的输入端，PLC 的输出信号是否能正确操作控制屏外的执行机构。完成上述调试后，将 PLC 置于 RUN 状态，运行用户程序，检查控制系统是否能满足要求。

在调试过程中将暴露出系统中可能存在的硬件问题，以及梯形图设计中的问题。发现问题后在现场加以解决，直到完全符合要求。按系统验收规程的要求，对整个系统进行逐项验收，合格后交付使用。

5．整理技术文件

根据调试的最终结果整理出完整的技术文件，并提供给用户，以便于今后系统的维护与改进。技术文件应包括：

① PLC 的外部接线图和其他电气图纸；

② PLC 的编程元件表，包括定时器、计数器的设定值等；

③ 带注释的程序和必要的总体文字说明。

4.8　本章小结

本章以国内广泛使用的三菱公司推出的 FX1S、FX1N、FX2S 和 FX2NC 系列 PLC 为例，介绍了 PLC 的工作原理、硬件结构、编程元件与指令系统，还介绍了梯形图的经验设计法、时序控制系统梯形图的设计方法、根据继电器电路图设计梯形图的方法、根据顺序功能图设计顺序控制梯形图的 3 种方法，用它们可以得心应手地设计出任意复杂的开关量控制系统的梯形图。

本章还介绍了 PLC 控制系统的设计和调试方法，提高系统可靠性和降低硬件费用的方法等。读者可结合数控机床电气控制的特点，加强实训部分练习，为数控机床 PLC 系统硬件设计、编程和分析做充分的准备。

4.9　思考与练习

1．简述 PLC 的定义和特点。

2．简述 PLC 的扫描工作过程。

3．整体式 PLC 与模块式 PLC 各有什么特点？

4．PLC 常用哪几种存储器？它们各有什么特点？分别用来存储什么信息？

5．交流输入模块与直流输入模块各有什么特点？它们分别适用于什么场合？

6．开关量输出模块有哪几种类型？它们各有什么特点？

7．FX2N-48MR 是基本单元还是扩展单元？有多少个输入点、多少个输出点？输出是什么类型？

8．写出图 4-88 所示梯形图的指令表程序。

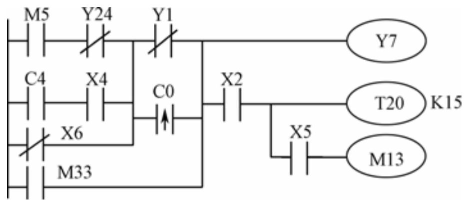


图 4-88　第 8 题图

9．写出图 4-89 所示梯形图的指令表程序。

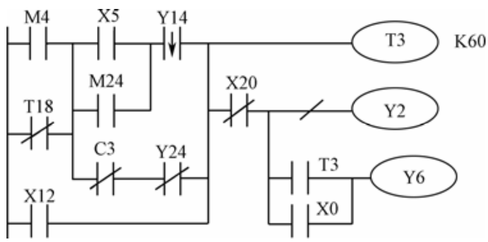


图 4-89　第 9 题图

10．用 PLS 指令设计出使 M0 在 X0 的下降沿为 ON 一个扫描周期的梯形图。

11．分别用上升沿检测触点指令和 PLS 指令设计梯形图，在 X0 或 X1 波形的上升沿，使 M0 在一个扫描周期内为 ON。

12．用 X0～X11 这 10 个键输入十进制数 0～9，将它们用二进制数的形式存放在 Y0～Y3 中，用触点和线圈指令设计编码电路。

13．用 ALT 指令设计使用按钮 X0 的电路，用 X0 输入 4 个脉冲，从 Y0 输出一个脉冲。

14．A/D 转换得到的 8 个 12 位二进制数据存放在 D0～D7 中，A/D 转换得到的数值 0～2 000 对应温度值 0～1 000℃，在 X0 的上升沿，用循环指令将它转换为对应的温度值，存放在 D20～D27 中，设计出梯形图程序。

第 5 章　数控机床PLC控制系统设计

可编程控制器（PLC）是 20 世纪 60 年代发展起来的一种新型自动化控制装置，目前，这种新型的自动化控制装置已广泛应用于各种工业设备。本章仅讨论 PLC 在数控机床中的应用。

【本章重点】

- 数控机床 PLC 系统的设计及调试;
- 数控机床中 PLC 控制的应用实例;
- 数控机床 PLC 系统设计过程中减少 I/O 点数的措施;
- 提高 PLC 在数控机床控制系统中可靠性的措施。

5.1　数控机床PLC系统设计及调试

数控机床 PLC 系统的设计与数控系统的设计密不可分。目前机床数控系统一般都自带或提供 PLC 功能，这其中有内装型的也有独立型的。因此，在设计数控机床 PLC 时通常都选择与数控系统相同品牌的 PLC。

由数控系统供应商提供的 PLC，在硬件上无论接口类型还是 I/O 点的规模，都为了适应数控机床的要求进行了专门设计或给出了典型推荐配置，软件上则一般根据数控机床的控制要求固化了 PLC 程序或提供标准 PLC 程序供用户参考选用。用户在使用中，只需根据具体机床的特点设置少量的参数或对标准程序作部分修改即可满足一般的要求。对于复杂的控制要求，也可通过参照参考程序作一些修改完成。PLC 系统设计的一般流程如图 5-1 所示。

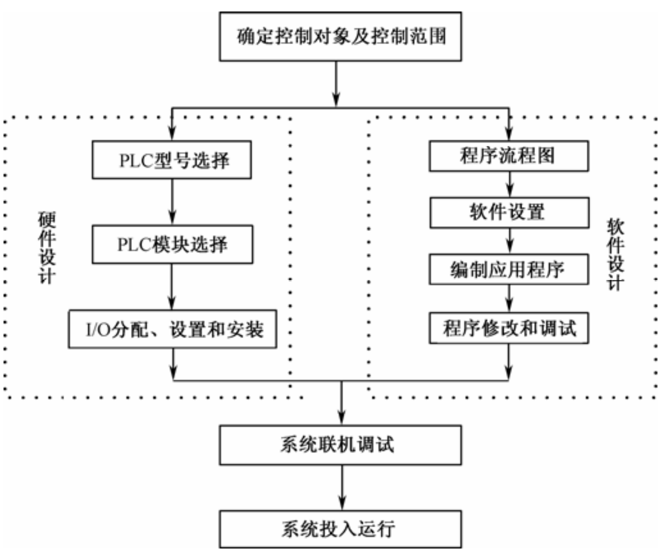


图 5-1　PLC 系统设计的一般流程

5.1.1 PLC系统的设计原则与步骤

1．PLC系统的设计原则

数控机床 PLC 控制系统是为了实现被控对象的工艺要求，以提高生产效率和产品质量。因此，在设计 PLC 控制系统时，应遵循以下基本原则。

（1）最大限度地满足被控对象的控制要求

充分发挥 PLC 的功能，最大限度地满足被控对象的控制要求，是设计 PLC 控制系统的首要前提，这也是设计中最重要的一条原则。要求设计人员在设计前就要深入现场进行调查研究，收集控制现场的资料，收集相关国内、国外的先进资料；同时要注意和现场的工程管理人员、工程技术人员、现场操作人员紧密配合，拟定控制方案，共同解决设计中的重点问题和疑难问题。

（2）保证 PLC 控制系统安全、可靠

保证 PLC 控制系统能够长期安全、可靠、稳定运行是设计控制系统的重要原则。要求设计者在系统设计、元器件选择、软件编程上要全面考虑，以确保控制系统安全、可靠。例如，要保证 PLC 程序不仅能在正常条件下运行，而且在非正常情况下（如突然掉电再上电、按钮按错等）也能正常工作。

（3）力求简单、经济、使用及维修方便

一个新的控制工程固然能提高产品的质量和数量，带来巨大的经济效益和社会效益，但新工程的投入、技术的培训、设备的维护也将导致运行资金的增加。因此，在满足控制要求的前提下，一方面要注意不断地扩大工程的效益，另一方面也要注意不断地降低工程的成本。这就要求设计者不仅要使控制系统简单、经济，而且应使控制系统的使用和维护方便、成本低，不盲目追求自动化和高指标。

（4）适应发展的需要

由于技术的不断发展，控制系统的要求也会不断地提高，设计时要适当考虑到今后控制系统发展和完善的需要。这就要求在选择 PLC、输入/输出模块、I/O 点数和内存容量时，要适当留有余量，以满足今后生产的发展和工艺的改进。

2．PLC系统的设计步骤

数控机床 PLC 系统的设计步骤如下。

（1）工艺分析

对数控机床设备的工艺过程、工作特点、控制系统的控制过程、功能和特性进行分析，估算 I/O 开关量的点数、I/O 模拟量的接口数量和精度要求，从而对 PLC 系统提出整体要求。

（2）系统调研

根据设备的要求，对初步选定的数控系统进行调研，了解其所提供的 PLC 系统的功能和特点，包括 PLC 的类型、接口种类和数量、接口性能、扩展性、PLC 程序的编制方法、售后服务等内容，有必要可以和供应商直接联系。

（3）电气设计

PLC 控制系统的电气设计主要包括的内容有电气设计原理图、元器件清单、电柜布置图、接线图和互连图，如果是定型设备还有工艺图。进行电气设计时需要特别注意以下几点。

① PLC 输出接口的类型，是继电器输出还是光电隔离输出等。

② PLC 输出接口的驱动能力，一般继电器输出为 2A，光电隔离输出为 500mA。模拟量接口的类型和极性要求，一般有电流型输出（−20～+20mA）和电压型输出（–10～+10V）两种可选。

③ 采用多直流电源时的共地要求。

④ 输出端接不同负载类型时的保护电路。若执行电器为感性负载，需接保护电路。

⑤ 若电网电压波动较大或附近有大的电磁干扰源，应在电源与 PLC 之间加设隔离变压器、稳压电源或电源滤波器。

⑥ PLC 的散热条件，当 PLC 的环境温度大于 55℃时，需要采取强制冷却措施。

（4）确定方案

最后综合考虑数控系统和 PLC 系统的功能、性能、特点、本单位的需要和使用习惯，以及整机性价比来确定 PLC 系统的方案。实际上主要是从 PLC 的角度对数控系统提出要求，从而确定数控系统方案的。

3．选择独立型PLC应考虑的因素

一般只有少数情况下才会选用独立型 PLC。如从经济的角度考虑，选用了简易型数控系统，但设备需要较多的模拟量接口和大量的开关量接口，而数控系统提供的 PLC 不能满足要求，则需要选用独立型 PLC。

在选择独立型 PLC 时主要考虑以下几个因素。

（1）功能范围

PLC 功能有强有弱，其价格差别很大，应根据系统的实际需要选用。主要考虑有无扩展能力，有无模拟量输入、输出，指令系统是否完善，有无中断能力，有无联网能力等。

（2）I/O 点数统计

统计系统设计中所需要输入/输出的种类及数量，以便确定选用 I/O。

（3）模块的种类和数量

通常都有一定数量的扩展单元供用户配置，选用时在满足需要的前提下应注意经济性。

（4）存储器容量

可根据系统大小不同，选择用户存储器容量不同的 PLC。一般厂商提供 1KB、2KB、4KB、8KB、16KB 不等容量的存储器，主要凭经验估算来选择。

（5）处理时间

PLC 从处理一个输入信号到产生一个输出信号所需的时间称为处理时间。处理时间的长短不仅取决于 CPU 的循环扫描周期，还与输出继电器的机械滞后、输入信号的到来时刻，以及程序语句的安排有密切的关系。当某些设备要求 I/O 做出快速响应时，可采用快速响应模块、高速计数模块及中断处理等措施来缩短处理时间。

5.1.2　PLC程序设计

目前数控机床特别是通用数控机床的各项功能，如主轴控制、车床刀架转位、加工中心刀库的换刀、润滑、冷却的启停等均已标准化，各种数控系统一般都内置或提供满足这些功能的 PLC 程序。采用独立型 PLC 时，一般厂家也会提供满足通用数控机床要求的标准 PLC 程序。因此，设计 PLC 程序最重要的方法就是详细了解并参考系统提供的标准 PLC 程序。

1．PLC程序设计在应用中最关键的问题

PLC 程序设计的基本思路是按照设备的要求设计输入和输出信号的逻辑关系，在输入某些信号时得到预期的输出信号，从而实现预期的工作过程。因此，简单而常用的方法是以过程为目标，分析每个过程的启动条件和限制条件，根据这些条件编写该过程的 PLC 程序，完成了所有过程的 PLC 程序也即完成了整个 PLC 程序。其中某个过程可以涉及一个输出接口，如冷却电动机的启/停；也可以涉及多个输出接口，如加工中心换刀的过程。这种方法比较容易实现 PLC 程序的模块化，易于各过程的独立调试，缺点是往往不能保证最小的存储器占有量。目前随着计算机和微电子技术的发展，对 PLC 存储器容量方面的限制已经越来越小。

2．PLC程序设计的常用方法

PLC 程序设计的常用方法主要有经验设计法和逻辑设计法。

（1）经验设计法

经验设计法实际上是在一些典型单元电路（梯形图）的基础上，根据被控对象控制系统的具体要求，不断地修改和完善梯形图。有时需要多次反复修改和调试梯形图后才能得到一个较为满意的结果。用这种方法对比较简单的控制过程进行设计，可以收到简便、快速的效果。但是由于主要依赖经验进行设计，因而要求设计者具有较丰富的经验，需要掌握、熟悉大量控制系统的实例和各种典型环节。这种设计方法较灵活，其结果一般不是唯一的。

用经验设计法设计 PLC 应用的电控系统程序与用任何其他方法一样，首先必须详细了解机械及工艺的控制要求，包括机械的工作循环图、电气执行元件的动作节拍等。用经验设计法完成 PLC 程序设计可以按以下几个步骤进行：分析控制要求、选择控制原则→设置主令元件和检测元件→确定输入、输出信号→设计执行元件的控制程序→检查、修改和完善程序。

（2）逻辑设计法

逻辑设计法是指以逻辑组合的方法和形式设计电气控制系统。这种设计方法既有严密可循的规律性和明确可行的设计步骤，又具有简便、直观和十分规范的特点。

逻辑设计方法的理论基础是逻辑代数，而继电器控制系统的本质是逻辑线路，它符合逻辑运算的各种基本规律。在某种意义上可以认为 PLC 是“与”、“或”、“非”三种逻辑线路的组合体，而 PLC 梯形图程序的基本形式也是“与”、“或”、“非”的逻辑组合，它们的工作方式及其规律也完全符合逻辑运算的基本规律。因此用只有“0”、“1”两种取值的逻辑代数作为 PLC 程序设计的工具就较为实用、可靠。

3．PLC程序设计的一般步骤

① 若所采用的 PLC 本身带有程序，应详细了解程序已有的功能和对现有需求的满足程度及可修改性，尽量采用其自带程序。

② 将所有与 PLC 相关的输入信号（按钮、行程开关、传感器等）、输出信号（接触器、电磁阀、信号灯等）分别列表，并按 PLC 内部的接口范围给每个信号确定编号。

③ 详细了解生产工艺和设备对控制系统的要求，画出系统各个功能过程的工作循环图或流程图、功能图及有关信号的时序图。

④ 按照 PLC 程序语言的要求设计梯形图或编写程序清单。梯形图上的文字符号应按现场信号与 PLC 内部接口对照表的规定标注。

4．PLC程序设计的一般原则

（1）保证人身与设备安全

保证人身与设备安全的设计永远都不多余。PLC 的设计应该是在保证操作者和设备安全的前提下完成其功能，没有安全保证的设备没有任何实用价值。

（2）保证硬件的安全保护

PLC 程序的安全设计并不代表硬件的安全保护可以省略。程序的安全设计仅是在软件上提供保护功能，为了避免软件工作异常和调试过程中程序编制错误或操作不当引起的事故，还要在硬件上设计保护功能。如电机正反转接触器的互锁设计，进给电机的限位保护开关等，这些均在硬件上实现，无须通过 PLC 控制。

（3）了解 PLC 自身的特点

不同厂家的 PLC 都各有特点，在应用中也会有所不同，要了解 PLC 自身的特点才能正确使用并发挥 PLC 应有的作用。

（4）设计调试点易于调试

PLC 程序的设计并不是一次就可以完成的，常常需要经过反复调试和实验。因此 PLC 程序的设计与一般软件的设计类似，需要利用中间寄存器设计跟踪标记和断点，以方便调试。

（5）模块化设计

数控机床的 PLC 一般要完成许多功能，模块化设计便于我们对各个功能进行单独调试，当改变某一功能的控制程序时，也不会对 PLC 的其他功能产生影响。

（6）尽量减少程序量

减少程序量可以减少程序的运行时间，提高 PLC 的响应速度，这对于循环扫描的 PLC 尤其重要。另外，减少 PLC 的程序量对于节省系统资源也是非常必要的。

（7）全面注释，便于维护

PLC 所服务的数控机床要求长时间稳定的运行，因此，PLC 出现问题时要能立刻排除，详细的注释有利于维修人员进行维修、日常维护及系统新功能的扩展。

5.1.3　PLC调试

1．输入程序

根据型号的不同，PLC 有多种程序输入方法，如在 PLC 上进行本地输入，通过数控系统输入，通过外部专用编程器输入，通过 PLC 提供的基于 PC 的软件在外部输入。

2．检查电气线路

如果电气线路安装有误，不仅会严重影响 PLC 程序的调试进度，而且极有可能损坏元器件。因此调试之前应该仔细检查整个系统的电气线路，特别是电源部分。若系统是分模块设计调试的，也可以只检查准备调试的模块部分的电气线路。

3．模拟调试

PLC 处在数控系统和机床电气之间，起着承上启下的作用。如果 PLC 指令有误，即使电气线路无误，也有可能引起事故，损坏设备。因此在 PLC 实际应用调试前应先进行模拟调试，可以采用系统提供的模拟台调试，也可以在关闭系统强电的条件下模拟调试。

4．运行调试

① 接通功率器件的动力，如电机及其驱动器的强电、气压、液压等，按照实际运行的需要调试，在运行调试中注意电气与机械的配合。

② 非常规调试，验证安全保护和报警功能。按照与设计功能不同的顺序输入或输出信号，如在主轴运行过程中按下送刀具按钮。

③ 观察 PLC 设计的保护功能是否有效。运行过程中接入各单元的报警信号，观察 PLC 程序是否能正确地报警并保护相应的单元。如主轴运行中，接入主轴过热信号，观察 PLC 是否报警并同时停止主轴和刀具进给。这部分工作通常也分为模拟调试和运行中调试，以防保护功能失效而损坏器件和设备。

④ 进行安全检查并投入试验性试运行。

⑤ 待一切正常后将程序固化到 PLC 存储器中，并做备份和详细文档，整理说明程序的功能和使用方法等。

5.2 PLC在数控机床中的应用实例

前面已经提到，在 PLC 设计方面需要详细了解被控过程的工作过程和工作原理，在编程方面可以学习和参考系统提供的标准程序和编程说明书，以及其他专门介绍 PLC 编程语言的参考书。因此本节对具体的编程方法不作详细的介绍，只针对数控机床 PLC 控制中比较典型的一个应用实例进行过程和安全互锁分析。应用实例中的 PLC 均采用 DC 24V NPN 型晶体管接口电路，即低电平有效。

下面以主轴系统为例说明。

1．过程分析

主轴的控制包括正转、反转、停止、制动和冲动等，要求如下：按正转按钮时电机正转；按反转按钮时电机反转；按停止按钮时电机停止，并控制制动器制动 2s；按冲动按钮时电机正转 0.5s，然后停止；电机过载报警后正/反转按钮和冲动按钮无效。

2．安全互锁

数控机床主轴的回转运动带动刀具或工件产生切削运动，因此主轴单元的安全互锁包括以下几个方面。

① 当主轴报警时必须禁止回转运动，以防损坏刀具或主轴。

② 当主轴运动时，必须禁止刀具松/紧和自动换刀等，因为这些过程需要主轴处在静止的状态。

③ 若主轴有多个挡位，则主轴换挡未成功时，必须禁止主轴的连续运动和机床的自动加工。

3．程序设计

主轴控制电气部分的设计如图 5-2 所示，主轴为普通的三相异步电机，由交流接触器控制正/反转；继电器采用直流 24V 供电，自带续流二极管；交流接触器采用交流 110V 供电。

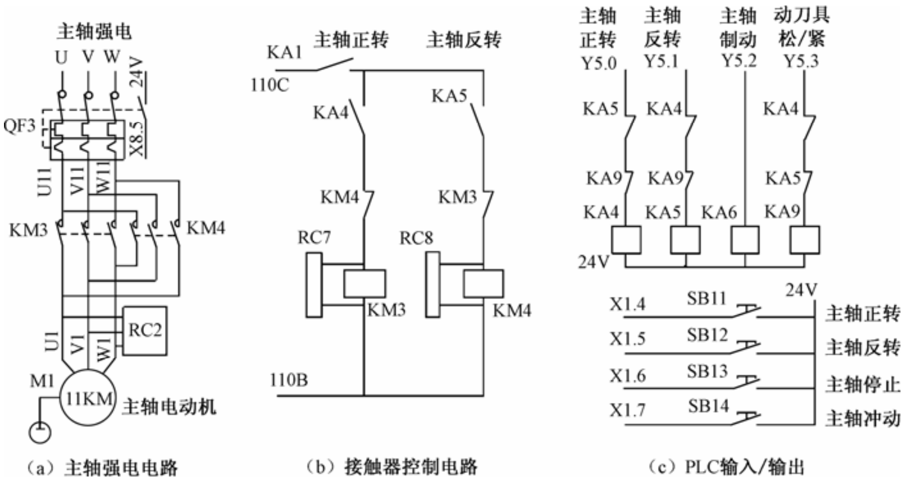


图 5-2　主轴控制电气设计

图 5-2 中各器件的含义见表 5-1。

表 5-1　主轴控制电器含义表

序　号	名　称	含　义
1	QF3	主轴带过载保护电源空开
2	KM3	主轴正转交流接触器
3	KM4	主轴反转交流接触器
4	KA1	由急停控制的中间继电器
5	KA4	主轴正转中间继电器
6	KA5	主轴反转中间继电器
7	KA6	主轴制动中间继电器
8	KA9	刀具松中间继电器
9	SB11	主轴正转按钮
10	SB12	主轴反转按钮
11	SB13	主轴停止按钮
12	SB14	主轴冲动按钮
13	RC2	三相灭弧器
14	RC7，RC8	单相灭弧器

与主轴控制相关的输入/输出寄存器如下。

输入寄存器：X1.4——正转；X1.5——反转；X1.6——停止；X1.7——冲动；X8.5——报警。

输出寄存器：Y5.0——正转；Y5.1——反转；Y5.2——制动；Y5.3——松刀。

在电气安全互锁设计上，主轴正/反转在接触器和继电器分别进行了安全互锁；主轴正/反转对刀具松进行了安全互锁；急停对主轴运转进行了安全互锁。

指令语句表程序如下：

```
1. LD    X1.4    读取主轴正转按钮
2. OR    R0.0    R0.0 自锁
```

3．AND　　X8.5　　无报警
4．ANI　　Y5.3　　刀具未松开
5．AND　　X1.6　　停止按钮未按下（停止按钮硬件上是常闭连接）
6．ANI　　Y5.1　　反转无输出
7．ANI　　Y5.2　　主轴未制动
8．OUT　　R0.0　　输出中间变量 R0.0，并自锁
——主轴正转条件都满足，则按下正转按钮后，输出 R0.0 并自锁——
9．LD　　X1.7　　读取主轴冲动按钮
10．OR　　R0.1　　R0.1 互锁
11．ANI　　T1　　若 T1 计时未完成
12．OUT　　R0.1　　输出 R0.1
13．OUT　　T1　K5　　T1 计时 0.5s
——按下主轴冲动按钮后，R0.1 输出 0.5s 后关闭——
14．LD　　R0.0　　读取 0.0
15．OR　　R0.1　　或 R0.0
16．AND　　X8.5　　无警报
17．ANI　　Y5.3　　刀具未松开
18．AND　　X1.6　　停止按钮未按下
19．ANI　　Y5.1　　反转无输出
20．ANI　　Y5.2　　主轴未制动
21．OUT　　Y5.0　　输出 Y5.0 控制主轴正转
——主轴正转条件满足后，R0.0 和 R0.1 任意一个有输出则输出 Y5.0 控制主轴正转，实现主轴连续正转和每次按下主轴冲动按钮、主轴正向冲动 0.5s 的功能——
22．LD　　X1.6　　读取主轴停止按钮
23．OR　　Y5.2　　主轴制动自锁
24．ANI　　T2　　若 T2 计时未完成
25．OUT　　Y5.2　　输出主轴制动
26．OUT　　T2　K20　　T2 计时 2s
——按下主轴停止按钮后，Y5.2 输出制动主轴 2s 后断开——
27．LD　　X1.5　　读取主轴反转按钮
28．OR　　Y5.1　　主轴反转自锁
29．AND　　X8.5　　无报警
30．ANI　　Y5.3　　刀具未松开
31．AND　　X1.6　　停止按钮未按下
32．ANI　　Y5.0　　正转无输出
33．ANI　　Y5.2　　主轴未制动
34．OUT　　Y5.1　　输出 Y5.1 控制主轴反转
35．END
——主轴反转条件都满足，则按下反转按钮后，输出 Y5.1 并自锁——

5.3　数控机床PLC控制应用实例

1．过程分析

以四工位自动刀架为例，刀架电动机采用三相交流 380V 供电，正转时驱动刀架正向旋转，各刀具按顺序依次经过加工位置（如图 5-3 所示），刀架电动机反转时，刀架自动锁死，保证刀具能够承受切削力。每把刀具各有一个霍尔位置检测开关。

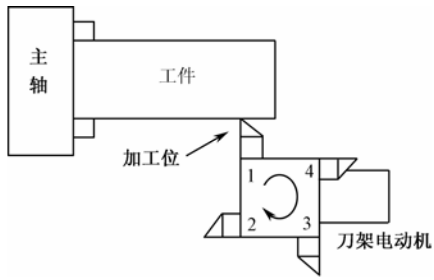


图 5-3　车床刀架示意图

换刀动作由 T 指令或手动换刀按钮启动，换刀过程如下：

① 刀架电动机正转；

② 检测到所选刀位的有效信号后，停止刀架电动机运转，并延时（100ms）；

③ 延时结束后刀架电动机反转锁死刀架，并延时（500ms）；

④ 延时结束后刀架电动机停止，换刀完成。

车床刀架不存在刀具交换的问题，刀具选好后即可以开始加工，因此，车床的换刀由 T 指令（选刀指令）完成，而不需要换刀指令（M06 指令）的参与。

2．安全互锁

① 刀架电动机长时间旋转（如 20s）而检测不到刀位信号，则认为刀架出现故障，立即停止刀架电动机，以防止将其损坏并报警提示。

② 刀架电动机过热报警时，停止换刀过程，并禁止自动加工。

3．程序设计

刀架控制的电气设计如图 5-4 所示，图中各器件的含义如表 5-2 所示。

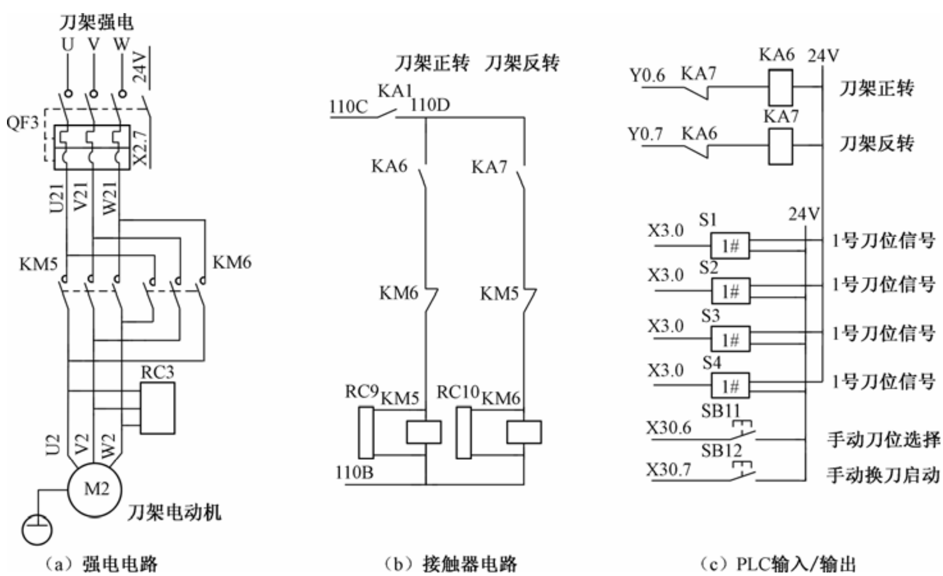


图 5-4　刀架控制的电气设计

表 5-2　各器件的含义

序　号	名　　称	含　　义
1	M2	刀架电动机
2	QF3	刀架电动机带过载保护的电源空开
3	KM5、KM6	刀架电动机正、反转控制交流接触器
4	KA1	由急停控制的中间继电器
5	KA6、KA7	刀架电动机检测霍尔开关
6	S1～S4	刀位检测霍尔开关
7	SB11	手动刀位选择按钮
8	SB12	手动换刀启动按钮
9	RC3	三相灭弧器
10	RC9、RC10	单相灭弧器

自动刀架控制涉及的输入/输出寄存器如下：

X2.7——刀架电动机过热报警输入；

X3.0～X3.3——1～4 号刀到位信号输入；

X30.6——手动刀位选择按钮信号输入；

X30.7——手动换刀启动按钮信号输入；

Y0.6——刀架正转继电器控制输出；

Y0.7——刀架反转继电器控制输出。

PLC 程序按定时循环扫描的方式执行，与换刀相关的程序扫描周期为 16ms，用 plc1_time 表示，程序中利用这一点实现定时（延时）功能。程序中用到的变量说明如下。

① *sys_ext_alm（）：用于设定外部报警，为 16 位二进制数，每一位代表一个报警，可设定 0～15 共 16 个外部报警。某位为 1 时，相对应的外部报警显示，为 0 时则清除相对应的报警。

② Mod_T_code（0）：T 指令代码，一般为 3 位十进制数，百位表示刀号，个位、十位表示刀偏号，置“–1”时 T 指令完成。

③ T_stage：定义换刀顺序标记的局部变量（字符型）。

④ T_stage_dwell：定义换刀延时时间的局部变量（无符号整型）。

⑤ T_NO：定义所选刀号的局部变量（字符型）。

车床刀架用 T 指令换刀的 C 语言 PLC 处理程序如下：

```
 if （（X[2]&0x80）==0）          // 若电动机过热（X2.7 为 0）
{
*sys_ext_alm（）|=4;              // 则显示 2 号外部报警：刀架电动机过热
Mod_T_code（0）= –1;              // 强制 T 指令完成
Return;                           // 从 T 指令处理程序返回 PLC 主程序
                                     （以下简称“返回”）
}
else                              // 否则
   *sys_ext_alm（）&=～4;         // 清除 2 号外部报警
   T_NO=mod_T_code（0）/100;      // 由 T 指令获得所要选的刀号
                                  // 如 T121，表示选 1 号刀，刀偏值取 21 号
if（T_stage_dwell>plcl_time）     // 若设定的换刀延时时间未完成
```

```
{
   T_stage_dwell_ =plcl_time;              // 则延时时间减去本程序执行周期的扫描时间
return;                                    // 并且返回
}
else                                       // 否则
T_stage_dwell=0;                           // 清零，为下次延时准备
                                           // 进入 switch 结构，执行换刀顺序的下一步
switch（T_stage）                          // 读取换刀顺序标记
{
case 0;                                    // 换刀第 0 步
     Y[0] | =0x40;                         // 输出 Y0.6，刀架正转
     Break;                                // 退出 switch 结构（以下简称“退出”）
case 1;                                    // 换刀第 1 步
  if（(X[3]&0xF）!=（1<<（T_NO–1)））
{                                          // 若本扫描周期读取的刀位信号不是所选刀
     T_stage=0;                            // 则回到换刀第 0 步，即保持正转继续找刀
     T_change_time+=plcl_time;             // 记录正转时间
     If（T_change_time>8 000）             // 若超过 8s 没有找到目标刀位
{
*sys_ext_alm（）| =8;                      // 则显示 3 号外部报警：换刀超时

Y[0]&=～0x40;                              // 停止电动机
mod_T_code（0）= –1;                       // T 指令强制完成
break;                                     // 退出
}
else
*sys_ext_alm（）&=～8;                     // 否则清除 3 号外部报警
break;                                     // 退出
}
Y[0]&=～0x40;                              // 表示已到达所选刀位，Y0.6 置零，停止刀架正转
  T_stage_dwell=100;                       // 设定停止延时=100ms
  break;                                   // 退出
case 2：                                   // 换刀第 2 步
     Y[0]| =0x80;                          // Y0.7 置 1，刀架电动机反转锁死刀架
     T_stage_dwell=500;                    // 反转时间为 500ms
     break;                                // 退出
  case 3：                                 // 换刀第 3 步
     Y[0]&=～0x80;                         // Y0.7 置 0，刀架电动机停止旋转
     mod_T_code（0）= –1;                  // 置 T 指令完成标记
     break;                                // 退出
}
T_stage++；                                // 换刀顺序标记加 1
// 若顺利，下面的程序在扫描周期中待延时时间完成后自动进入换刀顺序过程的下一步
```

换刀可以用手动按钮实现，PLC 处理程序与上面相似，只是换刀号“T-NO”的获取不是靠 T 指令，而是靠选刀按钮设定，读者可尝试自己编写车床自动刀架手动换刀的 PLC 程序。

5.4 减少I/O点数的措施

I/O 点数是衡量 PLC 规模大小的重要指标。不同种类的 PLC，所适用的规模是不同的，用户应根据实际生产过程中的输入/输出信号点数和信号类型来选择不同种类的 PLC 或相应的输入/输出单元模块。通常，开关量输入/输出单元采用最大的输入/输出点数来表示，模拟量输入/输出单元采用最大的输入/输出通道来表示。

PLC 的每个 I/O 点的平均价格高达近百元，减少所需的 I/O 点数是降低系统硬件费用的主要措施，因此设计 PLC 控制系统时应尽可能减少 PLC 的 I/O 点数。

1．减少输入点的常用方法

① 分时分组输入。自动程序和手动程序不可能同时被执行，自动和手动这两种工作方式分别使用的输入可以分成两组。在 PLC 系统设计时增加输入自动/手动的控制信号，供自动程序和手动程序切换时使用。

② 合并输入点。如果某些外部输入信号总是以某种“与”、“或”、“非”组合的整体形式出现在梯形图中，在设计时可以将它们对应的触点在 PLC 的外部串联或并联后作为一个整体的输入接入端子，只占用 PLC 的一个输入点。例如，对于单人三地操作的设备，可以将三个地点的停止按钮串联，将三个地点的启动按钮并联，然后分别接入 PLC 的两个输入点，与每个启动、停止按钮分别接一个 PLC 的输入端子相比，不仅节省了 4 个输入端子，还简化了 PLC 的梯形图程序。

③ 将输入信号设置在 PLC 之外。系统的某些输入信号可以设置在 PLC 之外，如在手动操作的电机启、停控制线路中，当热继电器实现过载保护后，若要再次启动电机，首先需要提供热继电器的手动复位信号，可以把热继电器的动断触点从 PLC 的输入端移出，而与接触器线圈串联后接入 PLC 的输出端子。需要注意的是，若某些手动按钮需要串联一些安全连锁触点，而采用外部硬件连锁电路过于复杂时，则仍应将有关的信号直接送入 PLC，用 PLC 的梯形程序实现软的连锁控制。

2．减少输出点的常用方法

① 减少开关量输出点。在 PLC 输出功能允许的条件下，若系统某些负载的通断状态完全相同，则可以将多个负载并联，通过 PLC 控制的继电器开关对多个负载进行控制，这样只需把继电器的线圈直接接入 PLC 的一个输出端子即可实现。

对于指示电路，可用一个指示灯指示控制系统的多种控制状态。若需要用指示灯指示 PLC 负载的工作状态，可以将指示灯与负载直接并联，这样可以使每个指示灯不再单独占用一个输出端子。当然要注意并联时的电压和电流，不应超出 PLC 输出触点的允许值。

另外，对于系统中某些相对独立或比较简单的部分，可以不用 PLC 进行控制，直接用继电器控制线路进行控制，这样做可以同时减少 PLC 的输入与输出点数。

② 减少数字显示所用输出点。在某些情况下系统需要显示数值，若用 PLC 的数字量输出点来直接控制，则所需的输出点很多，这时可以使用集成芯片来驱动显示器解决问题。如果需要显示的数据很多，也可以考虑选用文本显示器或一些其他操作面板。

5.5　提高PLC在数控机床控制系统中可靠性的措施

5.5.1　PLC的安装

1．PLC的安装环境

每种工业设备对外部环境都有特定的要求，PLC 的安装也不例外。如果不满足安装环境要求，可能不会影响 PLC 的正常功能，但会影响 PLC 的可靠性和使用寿命。

虽然 PLC 的适应性很强，但并不是说 PLC 在所有场合都能正常有效地进行工作。一般来说，要确保 PLC 在数控机床控制系统中的可靠性，就需要考虑 PLC 安装场合周围的温度、湿度及有无冲击振动、有无腐蚀情况等。在下列场合不适合安装 PLC：

① 周围温度低于 0℃或高于 55℃的场合；

② 周围湿度低于 10%或高于 90%的场合；

③ 遭受过度灰尘、盐蚀或金属粉末填充影响的场合；

④ PLC 易遭受直接冲击或激烈振动的场合。

此外，针对不同的现场环境，应对 PLC 进行相应的保护。如在易遭受静电、强电磁场或其他干扰的场合，应采取相应的静电防护、磁场屏蔽及抗干扰措施。

2．PLC的安装方向

对于模块化的 PLC 来说，是由多个模块组成一个 PLC 系统。PLC 的安装方向必须按照要求进行，否则将会出现散热问题，一般要求垂直安装。

5.5.2　合理的安装与布线

1．注意电源安装

电源是干扰进入 PLC 的主要途径。PLC 系统的电源有两类：外部电源和内部电源。

外部电源是用来驱动 PLC 输出设备（负载）和提供输入信号的，又称用户电源，同一台 PLC 的外部电源可能有多种规格。外部电源的容量与性能由输出设备和 PLC 的输入电路决定。由于 PLC 的 I/O 电路都具有滤波、隔离功能，所以外部电源对 PLC 性能的影响不大。因此，对外部电源的要求不高。

内部电源是 PLC 的工作电源，即 PLC 内部电路的工作电源，它的性能好坏直接影响到 PLC 的可靠性。因此，为了保证 PLC 的正常工作，对内部电源有较高的要求。一般 PLC 的内部电源都采用开关式稳压电源或原边带低通滤波器的稳压电源。

在干扰较强或可靠性要求较高的场合，应使用带屏蔽层的隔离变压器对 PLC 系统供电。还可以在隔离变压器二次绕组串接 LC 滤波电路。同时，在安装时还应注意以下问题：

① 隔离变压器与 PLC 和 I/O 电源之间最好采用双绞线连接，以控制串模干扰；

② 系统的动力线应足够粗，以降低大容量设备启动时引起的线路压降；

③ PLC 输入电路用外接直流电源时，最好采用稳压电源，以保证正确的输入信号，否则可能使 PLC 接收到错误的信号。

2．远离高压

PLC 不能在高压电器和高压电源线附近安装，更不能与高压电器安装在同一个控制柜内。在柜内 PLC 应远离高压电源线，二者间的距离应大于 200mm。

3．合理的布线

① I/O 线、动力线及其他控制线应分开布线，尽量不要在同一线槽中布线。

② 交流线与直流线、输入线与输出线最好分开布线。

③ 开关量与模拟量的 I/O 线最好分开布线，对于传送模拟量信号的 I/O 线最好用屏蔽线，且屏蔽线的屏敝层应一端接地。

④ PLC 基本单元与扩展单元之间的电缆传送的信号小、频率高，很容易受干扰，不能与其他的连线敷埋在同一线槽内。

⑤ PLC 的 I/O 回路配线必须使用压接端子或单股线，不宜用多股绞合线直接与 PLC 的接线端子连接，否则容易出现火花。

⑥ 与 PLC 安装在同一控制柜内、虽不是由 PLC 控制的感性元件，也应并联 RC 或二极管消弧电路。

PLC 的供电电源一般使用市电（220V，50Hz），电网的冲击、频率的波动直接影响到 PLC 系统实时控制的精度和可靠性。一般 PLC 的供电系统中采用隔离变压器，这样可以隔离掉供电电源中的各种干扰信号，从而提高系统的抗干扰性。若供电电源为开关电源，也应采用隔离变送器与电源隔离。另外，可以在供电系统中增加 UPS 不间断电源，保证系统的实时控制不受突然断电的影响。

5.5.3　必需的安全保护环节

1．短路保护

当 PLC 输出设备短路时，为了避免 PLC 内部输出元件损坏，应在 PLC 外部输出回路中装上熔断器，进行短路保护。最好在每个负载的回路中都装上熔断器。

2．互锁与连锁措施

除在程序中保证电路的互锁关系，PLC 外部接线中还应该采取硬件的互锁措施，以确保系统安全可靠地运行，如电动机正、反转控制，要利用接触器 KM1、KM2 的常闭触点在 PLC 外部进行互锁。在不同电机或电器之间有连锁要求时，最好也在 PLC 外部进行硬件连锁。采用 PLC 外部的硬件进行互锁与连锁，这是 PLC 控制系统中常用的做法。

3．失压保护与紧急停车措施

PLC 外部负载的供电线路应具有失压保护措施，当临时停电再恢复供电时，不按下“启动”按钮 PLC 的外部负载不能自行启动。这种接线方法的另一个作用是，当特殊情况下需要紧急停机时，按下“停止”按钮就可以切断负载电源，而与 PLC 毫无关系。

4．PLC的接线

为了防止或减小外部配线的干扰，在 PLC 接线时应注意抑制电源系统引入的干扰，抑制输入、输出电路引入的干扰。PLC 应尽可能取用电压波动小、波形畸变较小的电源，在可靠性要求很高的场合，对交流电源系统可在 PLC 电源输入端加接隔离变送器和低通滤波器等。对于输入、输出电路，开关量信号可用普通的单根导线传输，数字脉冲信号应选用屏蔽电缆传输，而模拟量信号要选用屏蔽电缆或带防护的双绞线。

良好的接地是 PLC 安全可靠运行的重要条件。为了抑制干扰，PLC 一般最好单独接地，与其他设备分别使用各自的接地装置，如图 5-5（a）所示；也可以采用公共接地，如图 5-5（b）所示；但禁止使用如图 5-5（c）所示的串联接地方式，因为这种接地方式会产

生 PLC 与设备之间的电位差。

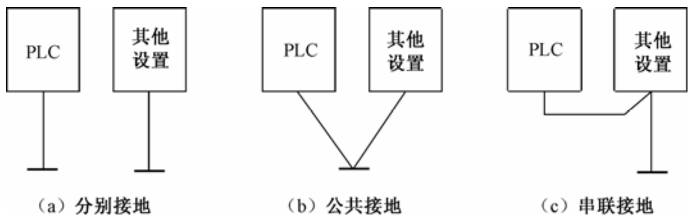


图 5-5　PLC 的接地

PLC 的接地线应尽量短，使接地点尽量靠近 PLC。同时，接地电阻要小于 100Ω，接地线的截面应大于 $2mm^2$。

另外，PLC 的 CPU 单元必须接地，若使用了 I/O 扩展单元等，则 CPU 单元应与它们具有共同的接地体，而且从任一单元的保护接地端到地的电阻都不能大于 100Ω。

此外，为防止负载短路损坏输出单元，可在 PLC 输出线路上安装熔断器。

5．必要的软件措施

有时硬件措施不一定能完全消除干扰的影响，采用一定的软件措施加以配合，对提高 PLC 控制系统的抗干扰能力和可靠性可起到很好的作用。

6．消除开关量输入信号抖动

在实际应用中，有些开关量输入信号接通时，由于外界的干扰而出现时通时断的“抖动”现象。这种现象在继电器系统中由于继电器的电磁惯性一般不会造成什么影响，但在 PLC 系统中，由于 PLC 扫描工作的速度快，扫描周期比实际继电器的动作时间短得多，所以抖动信号就可能被 PLC 检测到，从而造成错误的结果。因此，必须对某些抖动信号进行处理，以保证系统正常工作。

如图 5-6（a）所示，输入 X0 抖动会引起输出 Y0 发生抖动，可采用计数器或定时器，经过适当编程，以消除这种干扰。

如图 5-6（b）所示为消除输入信号抖动的梯形图程序。当抖动干扰 X0 断开的时间间隔 $\Delta t<K\times0.1s$ 时，计数器 C0 不会动作，输出继电器 Y0 保持接通，干扰不会影响正常工作；只有当 X0 抖动断开的时间间隔 $\Delta t\geqslant K\times0.1s$ 时，计数器 C0 计满 K 次动作，C0 常闭断开，输出继电器 Y0 才断开。K 为计数常数，实际调试时可根据干扰情况而定。

7．故障的检测与诊断

PLC 的可靠性很高且本身有很完善的自诊断功能，如果 PLC 出现故障，借助自诊断程序可以方便地找到故障的原因，排除后就可以恢复正常工作。

大量的工程实践表明，PLC 外部输入、输出设备的故障率远远高于 PLC 本身的故障率，而这些设备出现故障后，PLC 一般不能觉察出来，可能使故障扩大，直至强电保护装置动作后才停机，有时甚至会造成设备和人身事故。停机后，查找故障也要花费很多时间。为了及时发现故障，在没有酿成事故之前使 PLC 自动停机和报警，也为了方便查找故障，提高维修效率，可用 PLC 程序实现故障的自诊断和自处理。

现代的 PLC 拥有大量的软件资源，如 FX2N 系列 PLC 有几千点辅助继电器、几百点定时器和计数器，有相当大的裕量，可以把这些资源利用起来，用于故障检测。

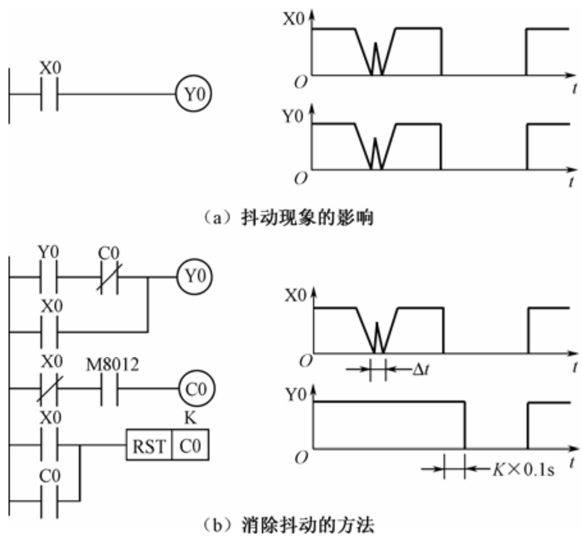


图 5-6　输入信号抖动的影响及消除

（1）超时检测

机械设备在各工步的动作所需的时间一般是不变的，即使变化也不会太大，因此可以以这些时间为参考，在 PLC 发出输出信号，相应的外部执行机构开始动作时启动一个定时器定时，定时器的设定值比正常情况下该动作的持续时间长 20%左右。例如设某执行机构（如电动机）在正常情况下运行 50s 后，它驱动的部件使限位开关动作，发出动作结束信号。若该执行机构的动作时间超过 60s（即对应定时器的设定时间），PLC 还没有接收到动作结束信号，定时器延时接通的常开触点发出故障信号，该信号停止正常的循环程序，启动报警和故障显示程序，使操作人员和维修人员能迅速判别故障的种类，及时采取排除故障的措施。

（2）逻辑错误检测

在系统正常运行时，PLC 的输入、输出信号和内部的信号（如辅助继电器的状态）相互之间存在着确定的关系，如出现异常的逻辑信号，则说明出现了故障。因此，可以编制一些常见故障的异常逻辑关系，一旦异常逻辑关系为 ON 状态，就应按故障处理。例如某机械运动过程中先后有两个限位开关动作，这两个信号不会同时为 ON 状态，若它们同时为 ON，说明至少有一个限位开关被卡死，应停机进行处理。

8．消除预知干扰

某些干扰是可以预知的，如 PLC 的输出命令使执行机构（如大功率电动机、电磁铁）动作，常常会伴随产生火花、电弧等干扰信号，它们产生的干扰信号可能使 PLC 接收错误的信息。在容易产生这些干扰的时间内，可用软件封锁 PLC 的某些输入信号，在干扰易发期过去后，再取消封锁。

5.5.4　冗余系统与热备用系统

某些复杂的大型生产系统，如汽车装配线，只要系统中有一个地方出现问题，就会造成整个系统的停产，经济损失极大。仅仅利用提高控制系统硬件的可靠性来满足其对可靠性的要求是不可能的。因为 PLC 本身可靠性的提高是有一定限度的，并且会使成本急剧增长。使用冗余系统或热备用系统可以有效地解决上述问题。

1．冗余系统

所谓冗余系统是指系统中多余的部分，没有它系统照样工作，但在系统出现故障时，这多余的部分能立即替代故障部分而使系统继续正常运行。冗余系统一般设置为将控制系统中最重要的部分（如 CPU 模块）由两套相同的硬件组成，当某一套出现故障时立即由另一套来控制。是否使用两套相同的 I/O 模块，取决于系统对可靠性的要求程度。

如图 5-7（a）所示，两套 CPU 模块使用相同的程序并行工作，其中一套为主 CPU 模块，一套为备用 CPU 模块。在系统正常运行时，备用 CPU 模块的输出被禁止，由主 CPU 模块控制系统的工作。同时，主 CPU 模块还不断通过冗余处理单元（RPU）同步地对备用 CPU 模块的 I/O 映像寄存器和其他寄存器进行刷新。当主 CPU 模块发出故障信息后，RPU 在 1～3 个扫描周期内将控制功能切换到备用 CPU。I/O 系统的切换也是由 RPU 完成的。

2．热备用系统

热备用系统的结构较冗余系统简单，虽然也有两个 CPU 模块在同时运行一个程序，但没有冗余处理单元 RPU。系统中两个 CPU 模块的切换，是由主 CPU 模块通过通信接口与备用 CPU 模块进行通信完成的。如图 5-7（b）所示，两套 CPU 通过通信接口连在一起，当系统出现故障时，由主 CPU 通知备用 CPU 并实现切换，其切换过程一般较慢。

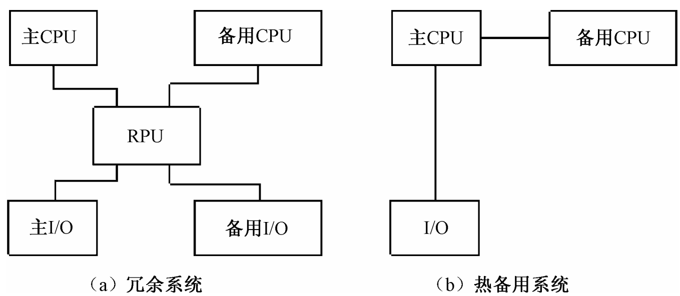


图 5-7　冗余系统与热备用系统

5.6　PLC控制系统的维护和故障诊断

5.6.1　PLC控制系统的维护

PLC 的可靠性很高，但环境的影响及内部元件的老化等因素，也会造成 PLC 不能正常工作。若等到 PLC 报警或故障发生后再去检查、修理，则是被动的。如果能经常定期地做好维护、检修，就可以保证系统始终工作在最佳状态下。因此，定期检修与做好日常维护是非常重要的。一般情况下检修时间以每 6 个月至 1 年一次为宜，当外部环境条件较差时，可根据具体情况缩短检修间隔时间。

PLC 日常维护、检修的一般项目和内容如表 5-3 所示。

表 5-3　PLC 日常维护、检修的项目和内容

序　号	检 修 项 目	检 修 内 容
1	供电电源	在电源端子处测量电压变化是否在标准范围
2	外部环境	环境温度（控制柜内）是否在规定范围 环境湿度（控制柜内）是否在规定范围 积尘情况（一般不能有积尘）

续表

序　号	检 修 项 目	检 修 内 容
3	输入、输出电源	在输入、输出端子处测量电压变化是否在标准范围
4	安装状态	各单元是否可靠固定，有无松动 连接电缆的连接器是否完全插入、旋紧 外部配件的螺钉是否松动
5	寿命元件	锂电池寿命等

5.6.2　PLC的故障诊断

任何 PLC 都具有自诊断功能，当 PLC 异常时应充分利用其自诊断功能分析故障原因。通常当 PLC 发生异常时，首先应检查电源电压、PLC 及 I/O 端子的螺钉和接插件是否松动，以及有无其他异常；然后根据 PLC 基本单元上设置的各种 LED 指示灯状况，检查 PLC 自身和外部有无异常。

下面以 FX 系列 PLC 为例，说明根据 LED 指示灯状况诊断 PLC 故障原因的方法。

1．电源指示（［POWER］LED指示）

当向 PLC 基本单元供电时，基本单元表面上设置的［POWER］LED 指示灯会亮。如果电源合上但［POWER］LED 指示灯不亮，应确认电源接线。另外，若同一电源有驱动传感器等时，应确认有无负载短路或过电流。若不是上述原因，则可能是 PLC 内混入导电性异物或其他异常情况，使基本单元内的熔断器熔断，此时可通过更换熔断器来解决。

2．出错指示（［ERROR］LED闪烁）

当程序语法错误（如忘记设定定时器或计数器的常数等），或有异常噪声、导电性异物混入而引起程序内存的内容变化时，［ERROR］LED 会闪烁，PLC 处于 STOP 状态，同时输出全部变为 OFF。在这种情况下，应检查程序是否有错，检查有无导电性异物混入和高强度噪声源。

发生错误时，8009、8060～8068 其中之一的值被写入特殊数据寄存器 D8004 中，假设写入 D8004 中的内容是 8064，则通过查看 D8064 的内容便可知道出错代码。与出错代码相对应的实际出错内容参见 PLC 使用手册的错误代码表。

3．出错指示（［ERROR］LED灯亮）

由于 PLC 内部混入导电性异物或受外部异常噪声的影响，导致 CPU 失控或运算周期超过 200ms，则 WDT 出错，［ERROR］LED 灯亮，PLC 处于 STOP 状态，同时输出全部变为 OFF。此时可进行断电复位，若 PLC 恢复正常，应检查有无异常噪声发生源和导电性异物混入的情况。另外，应检查 PLC 的接地是否符合要求。

检查过程如果出现［ERROR］LED 灯亮→闪烁的变化，应进行程序检查。如果［ERROR］LED 一直保持灯亮状态，应确认程序运算周期是否过长（监视 D8012 可知最大扫描时间）。

如果进行了全部的检查之后，［ERROR］LED 的灯亮状态仍不能解除，则应考虑 PLC 内部发生了某种故障，应与厂商联系。

4．输入指示

无论输入单元的 LED 灯亮还是灭，应检查输入信号开关是否确实在 ON 或 OFF 状态。输入开关的额定电流容量过大或由于油浸入等原因，容易产生接触不良。当输入开关与

LED 灯用电阻并联时，即使输入开关处于 OFF 状态，并联电路仍导通。如果使用光传感器等输入设备，由于发光/受光部位粘有污垢等，导致灵敏度变低，有可能不完全进入 ON 状态。注意当在输入端子上外加不同的电压时，会损坏输入回路。

5．输出指示

由于过载、负载短路或容量性负载的冲击电流等原因，会导致负载不能有效地处于 ON 或 OFF 状态（无论此时输出单元的 LED 灯亮还是灭）。

5.7　本章小结

本章主要介绍 PLC 控制系统的设计步骤和内容、设计与实施过程中应注意的事项，以及 PLC 在数控机床中的应用，PLC 的现场安装、使用、维护等，使读者初步掌握 PLC 控制系统的设计方法。要想顺利完成 PLC 控制系统的设计，更重要的是不断地实践。

5.8　思考与练习

1．PLC 设计的一般步骤是什么？有哪些常用的设计方法？

2．设计 PLC 时，有哪些重要的设计原则？

3．简述车床刀架自动换刀的一般过程，有哪些需要注意的安全互锁内容，如何应用 PLC 进行设计。

4．PLC 控制的特点是什么？

5．可编程控制器常见的编程语言有哪些？

6．数控机床根据 PLC 可分为几类？简述各类的特点。

7．在什么情况下需要将 PLC 的用户程序固化到 EPROM 中？

8．选择 PLC 的主要依据是什么？

9．PLC 的开关量输入单元一般有哪几种输入方式？它们分别适用于什么场合？

10．PLC 的开关量输出单元一般有哪几种输出方式？各有什么特点？

11．PLC 输入/输出有哪几种接线方式？为什么？

12．某系统有自动和手动两种工作方式，现场的输入设备有：6 个行程开关（SQ1～SQ6）和 2 个按钮（SB1～SB2），仅供自动时使用；6 个按钮（SB3～SB8），仅供手动时使用；3 个行程开关（SQ7～SQ9），为自动、手动共用。是否可以使用一台输入只有 12 点的 PLC？若可以，试画出 PLC 的输入接线图。

13．用一个按钮（X1）来控制三个输出（Y1、Y2、Y3）。当 Y1、Y2、Y3 都为 OFF 时，按一下 X1，Y1 为 ON，再按一下 X1，Y1、Y2 为 ON，再按一下 X1，Y1、Y2、Y3 都为 ON，再按一下 X1，回到 Y1、Y2、Y3 都为 OFF 的状态。再次操作 X1，输出又按以上顺序动作。试用两种不同的程序设计方法设计其梯形图程序。

14．PLC 控制系统安装布线时应注意哪些问题？

15．如何提高 PLC 控制系统的可靠性？

第 6 章　典型机床电气控制技术

在前面的章节中，分别介绍了计算机数控系统的各个组成部分、控制系统所用到的元器件和执行部件，将整个机床的电气与 PLC 控制技术进行“化整为零”的叙述。本章则介绍几种典型数控机床的电气控制电路设计实例及分析，将整个机床的电气与 PLC 控制技术“集零为整”，使读者了解数控系统的全貌。

【本章重点】

- 数控机床电气控制电路的设计原则;
- 电气原理图分析的方法和步骤;
- TK1640 型数控车床电气控制电路和分析;
- XK714A 型数控铣床电气控制电路和分析。

6.1　机床电气控制电路的设计

6.1.1　机床电气控制电路的设计方法与注意事项

电气控制系统是数控机床的重要组成部分，在数控机床中的地位与作用是很重要的。电气控制系统的组成是由各基本控制环节结合而成的，如何结合及由哪些基本控制环节组成，视不同数控机床的不同功能而有所不同。它不仅能单独完成启动、制动、反向、调速等一些基本要求，而且还能保证各运动的准确与协调，满足生产工艺要求，工作可靠，操作自动化。所以，要求我们不仅要懂得基本控制环节还要善于分析控制系统，进一步掌握其工作原理。

电气控制电路的设计，通常有两种设计方法，即分析设计法（经验设计法）和逻辑代数设计法。经验设计法是根据生产工艺的要求，选择一些成熟的典型基本环节来实现这些基本要求，而后再逐步完善其功能，并适当配置连锁和保护等环节，使其组合成一个整体，成为满足控制要求的完整电路。逻辑设计法是利用逻辑代数这一数学工具设计电气控制电路。在继电接触器控制电路中，把表示触头状态的逻辑变量称为输入逻辑变量，把表示继电器接触器线圈等受控元件的逻辑变量称为输出逻辑变量。输入、输出逻辑变量之间的相互关系称为逻辑函数关系，这种相互关系表明了电气控制电路的结构。所以，工作中根据控制要求，首先写出这些逻辑变量关系的逻辑函数关系式，再运用逻辑函数基本公式和运算规律对逻辑函数式进行化简，然后根据化简了的逻辑关系式画出相应的电路结构图，最后作进一步的检查和优化，以期获得较为完善的设计方案。

一般不太复杂的电路，用分析设计法比较直观、自然。而逻辑设计法设计难度较大，整个设计过程较复杂，在一般的常规设计中，很少单独采用。

分析设计法的基本步骤如下。

① 按工艺要求提出的启动、制动、反向和调速等要求设计主电路。

② 根据设计出的主电路，设计控制电路的基本环节，即满足设计要求的启动、制动、反向和调速等基本控制环节。

③ 根据各部分运动要求的配合关系及连锁关系，确定控制参量并设计控制电路的特殊

环节。

④ 分析电路工作中可能出现的故障，加入必要的保护环节。

⑤ 综合审查，仔细检查电气控制电路的动作是否正确，关键环节可做必要的试验，进一步完善和简化电路。

下面通过具体的例子说明如何用分析设计法设计控制电路。

【例 6-1】 某机床有左、右两个动力头，用以铣削加工，它们各由一台交流电动机拖动；另外有一个安装工件的滑台，由另一台交流电动机拖动。加工工艺是在开始工作时，要求滑台先快速移动到加工位置，然后自动变为慢速进给，进给到指定位置自动停止，再由操作者发出指令使滑台快速返回，回到原位后自动停车。要求两动力头电动机在滑台电动机正向启动后启动，在滑台电动机正向停车时也停车。

解：设计步骤如下。

（1）主电路设计

如图 6-1 所示，动力头拖动电动机只要求单方向旋转，为使两台电动机同步启动，可用一只接触器 KM3 控制。滑台拖动电动机需要正转、反转，可用两只接触器 KM1、KM2 控制。滑台的快速移动由电磁铁 YA 改变机械传动链来实现，由接触器 KM4 控制。

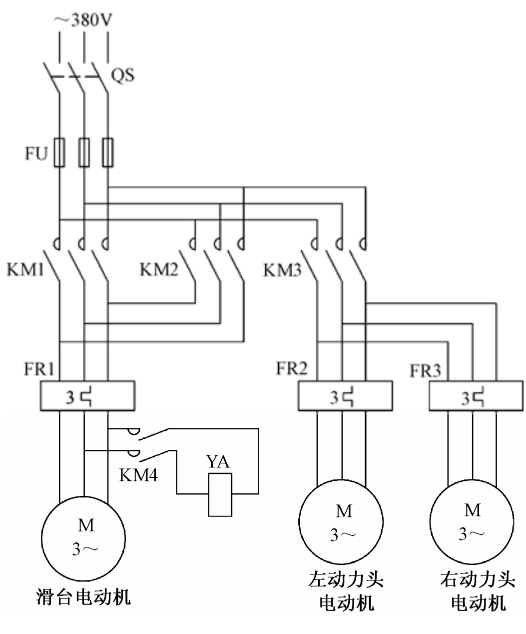


图 6-1　主控制电路

（2）控制电路设计

① 滑台电动机的正转、反转分别用两个按钮 SB1 与 SB2 控制，停车则分别用 SB3 与 SB4 控制。由于动力头电动机在滑台电动机正转后启动，停车时也停车，故可用接触器 KM1 的常开辅助触点控制 KM3 的线圈，如图 6-2（a）所示。

② 滑台的快速移动可采用电磁铁 YA 通电时改变凸轮的变速比来实现。滑台的快速前进与返回分别用 KM1 与 KM2 的辅助触点控制 KM4，再由 KM4 的触点去通断电磁铁 YA。滑台快速前进到加工位置时，要求慢速进给，因而在 KM1 触点控制 KM4 的支路上串联限位开关 SQ3 的常闭触点。此部分的辅助电路如图 6-2（b）所示。在图 6-2 控制电路草图的设计基础上进行整合，完成控制电路，如图 6-3 所示。

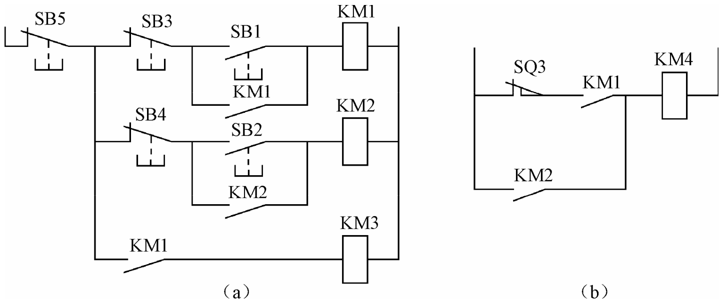


图 6-2　控制电路草图

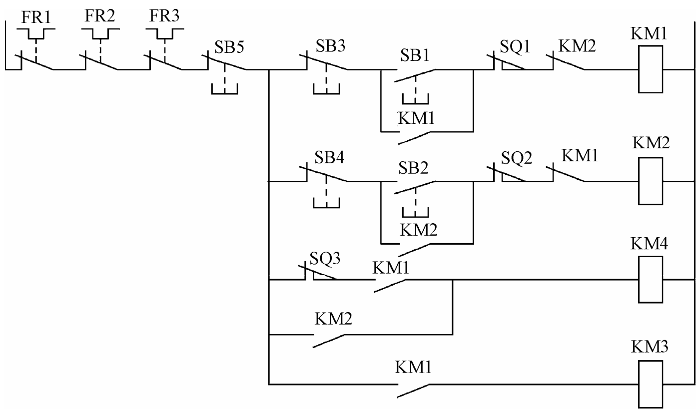


图 6-3　控制电路

（3）连锁与保护环节设计

用限位开关 SQ1 的常闭触点控制滑台慢速进给到位时的停车，用限位开关 SQ2 的常闭触点控制滑台快速返回至原位时的自动停车。接触器 KM1 与 KM2 之间应互相连锁，3 台电动机均用热继电器作过载保护。

（4）电路的完善

电路初步设计完后，可能还有不够合理的地方，因此需仔细校核。一共用了 3 个 KM1 的常开辅助触点，而一般的接触器只有两个常开辅助触点。因此，必须进行修改。从电路的工作情况可以看出，KM3 的常开辅助触点完全可以代替 KM1 的常开辅助触点去控制电磁铁 YA。修改后的辅助电路如图 6-4 所示。

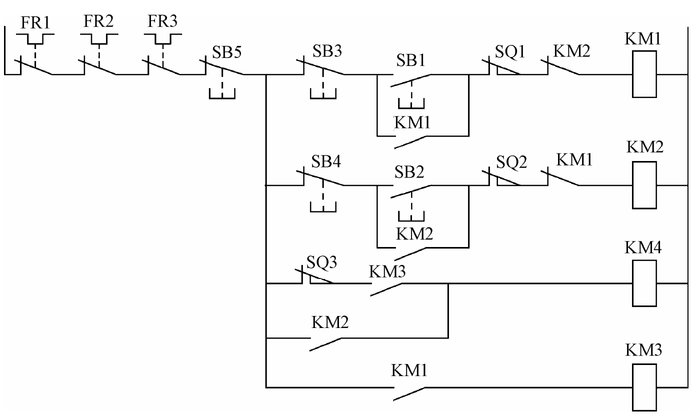
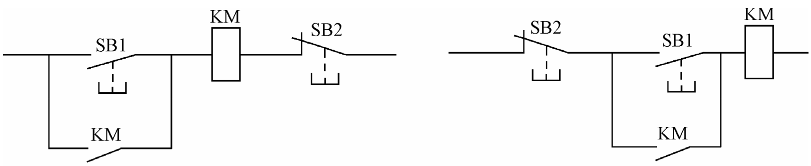


图 6-4　修改后的辅助电路

在进行控制电路设计时应注意以下问题。

（1）尽量减少连接导线

设计控制电路时，应考虑电器元件的实际位置，尽可能地减少配线时的连接导线，如图 6-5（a）所示是不合理的。



（a）不合理　　（b）合理

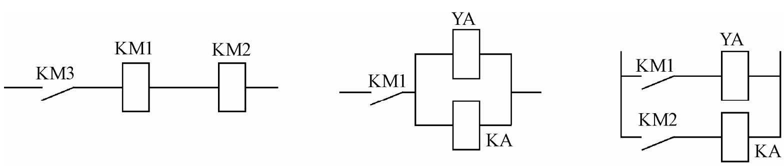
图 6-5　电器连接图

按钮一般是装在操作台上的，而接触器则装在电器柜内，这样接线就需要由电器柜二次引出连接线到操作台上，所以一般都将启动按钮和停止按钮直接连接，可以减少一次引出线，如图 6-5（b）所示。

（2）正确连接电器的线圈

① 电压线圈通常不能串联使用，如图 6-6（a）所示。由于它们的阻抗不尽相同，会造成两个线圈上的电压分配不等。即使外加电压是同型号线圈电压的额定电压之和，也不允许。因为电器动作总有先后，当一个接触器先动作时，其线圈阻抗增大，该线圈上的电压降增大，使另一个接触器不能吸合，严重时将使电路烧毁。

② 电感量相差悬殊的两个电器线圈，也不要并联连接。图 6-6（b）中直流电磁铁 YA 与继电器 KA 并联，在接通电源时可正常工作，但在断开电源时，由于电磁铁线圈的电感比继电器线圈的电感大得多，所以断电时继电器很快释放，但电磁铁线圈产生的自感电动势可能使继电器又吸合一段时间，从而造成继电器的误动作。解决方法为备用一个接触器的触点来控制，如图 6-6（c）所示。



（a）不合理　　（b）不合理　　（c）合理

图 6-6　电磁线圈的串、并联

（3）控制电路中应避免出现寄生电路

寄生电路是电路动作过程中意外接通的电路，如图 6-7 所示具有指示灯 HL 和热保护的正反向电路。正常工作时，电路能完成正反向启动、停止和信号指示。当热继电器 FR 动作时，电路就出现了寄生电路，如图中虚线所示，使正向接触器 KM1 不能有效释放，起不了保护作用。

（4）尽可能减少电器数量，采用标准件和相同型号的电器

如图 6-8 所示，当控制支路数较多而触点数目不够时，可采用中间继电器增加控制支路的数量。去掉不必要的 KM1，简化电路，提高电路可靠性。

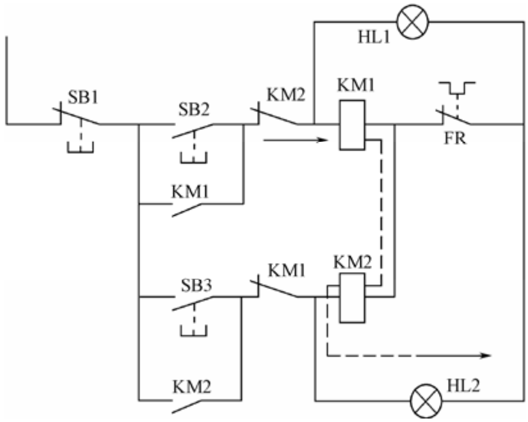


图 6-7　寄生电路

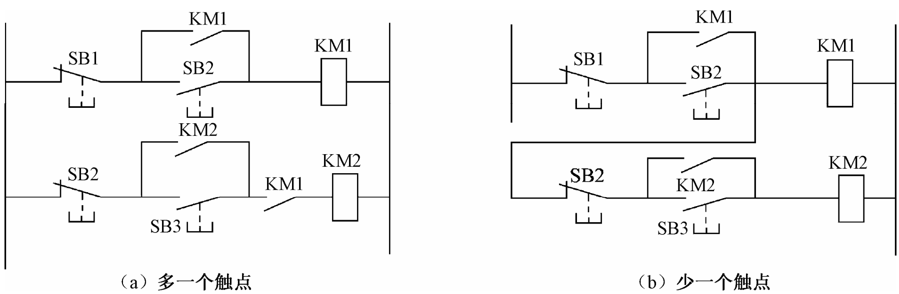


图 6-8　简化后电路

（5）多个电器的依次动作问题

在电路中应尽量避免许多电器依次动作才能接通另一个电器的控制电路。

（6）可逆电路的连锁

在频繁操作的可逆电路中，正反向接触器之间不仅要有电气连锁，而且还要有机械连锁。

（7）要有完善的保护措施

常用的保护措施有漏电流、短路、过载、过电流、过电压、失电压等保护环节，有时还应设有合闸、断开、事故、安全等必需的指示信号。

6.1.2　机床电气控制电路的设计实例

下面列举某数控车床的部分电气原理图，并简单分析电路图原理。图 6-9～图 6-11 所示是某数控车床的部分电气原理图。

图 6-9 是机床的动力电路图。图中交流接触器 KM1 和 KM2 用来控制主轴电机 M1 的正反转，断路器 QF2 作为主轴电机的过载及短路保护；交流接触器 KM4 和 KM5 用来控制刀架电机 M3 的正反转，断路器 QF4 作为刀架电机的过载及短路保护；交流接触器 KM3 用来控制冷却电机 M2 的启停，断路器 QF3 作为冷却电机的过载及短路保护。灭弧器 RC1～RC3 用来保护交流接触器的主触点，防止当主触点断开时，在动、静触点间产生强烈电弧，烧坏主触点。断路器 QF1 用来对整个线路进行过载及短路保护。

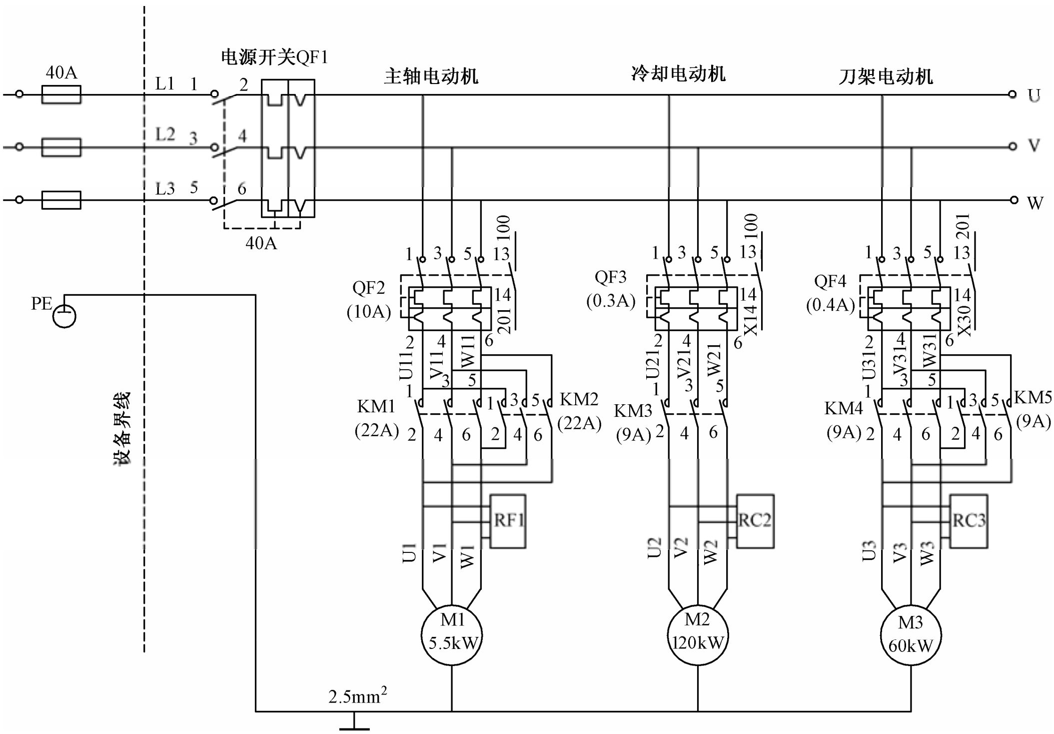


图 6-9　机床的动力电路图

图 6-10 是机床交流控制电路图。图中交流接触器 KM1 线圈和 KM2 一对常闭辅助触点串接，交流接触器 KM2 线圈和 KM1 一对常闭辅助触点串接，从而实现主轴电机正反向接触器间的互锁控制；交流接触器 KM4 线圈和 KM5 一对常闭辅助触点串接，交流接触器 KM5 和 KM4 一对常闭辅助触点串接，从而实现刀架电机正反向接触器间的互锁控制；交流接触器 KM3 线圈用来控制 KM3 主触点吸合。继电器 KA2～KA6 触点由 PLC 或数控装置 I/O 口控制，用来控制交流接触器 KM1～KM5 的线圈得电或断电。

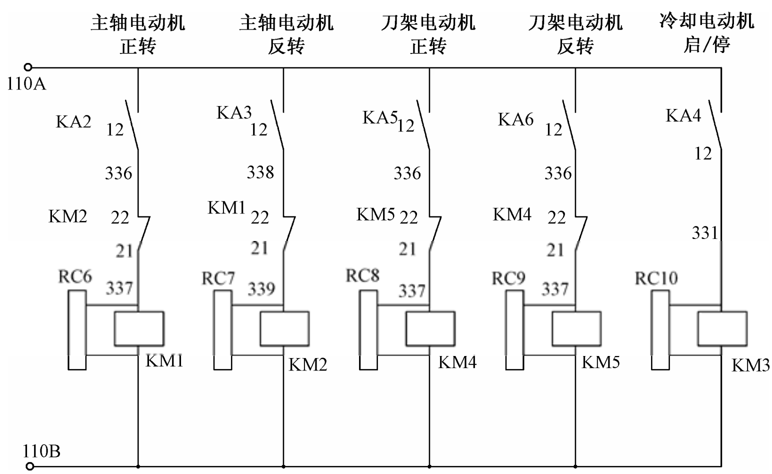


图 6-10　机床交流控制电路图

图 6-11 为机床的电源电路图。图中变压器 TC2 原边接三相 AC 380V 电压，副边三组绕组分别提供 AC 220V、AC 24V、AC 110V 电压，AC 220V 给开关电源供电，AC 24V 给工作灯供电，AC 110V 给电柜风扇供电，断路器 QF6～QF10 用来对线路进行过载及短路保护。

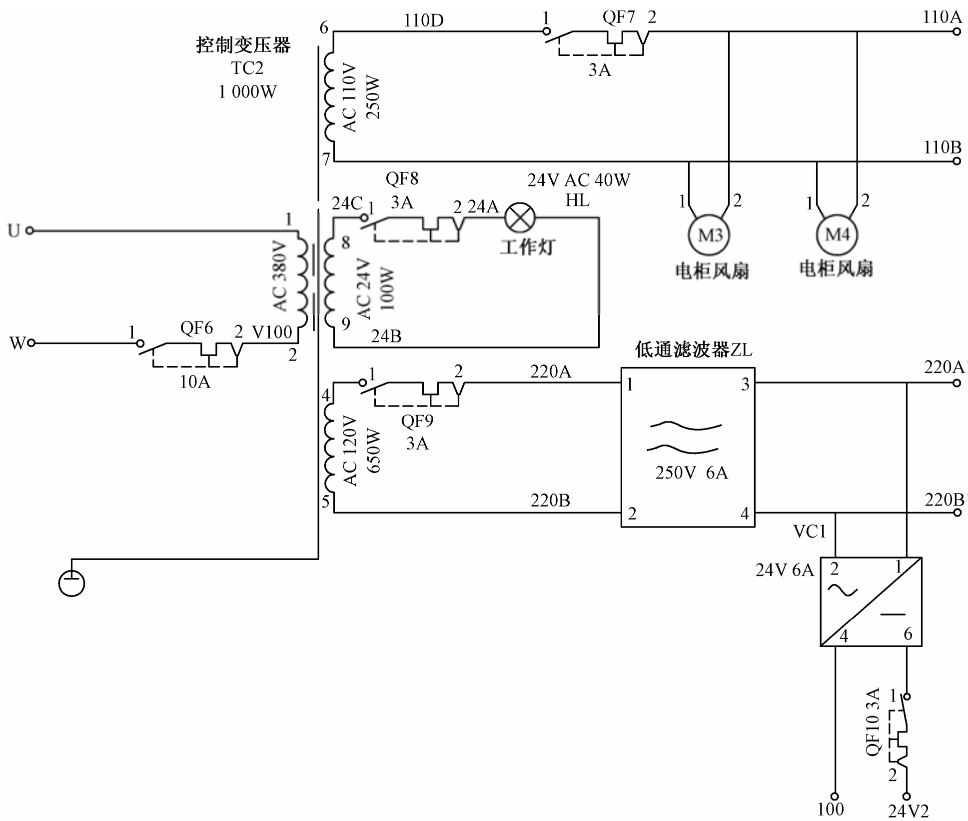


图 6-11 机床的电源电路图

6.2 数控机床电气控制电路设计原则

6.2.1 电气控制电路设计原则

1. 最大限度地实现机械设计和工艺的要求

数控机床是机电一体化产品，数控机床的主轴、进给轴伺服控制系统绝大多数是机电式的，其输出都包含某种类型的机械环节和元件，它们是控制系统的重要组成部分，其性能直接影响数控机床的品质。这些机械环节和元件一旦制造好，其性能就难以更改，远不如电气部分灵活易变。因此，数控机床的机械与数控系统的设计人员都必须明确地了解机械环节和元件的参数对整机系统的影响，以便密切配合，在设计阶段就仔细考虑相互之间的各种要求，做出合理的设计。

2. 保证数控机床稳定、可靠运行

数控机床运行的稳定性、可靠性在某种程度上取决于电气控制部分的稳定性、可靠性。数控机床在加工车间，其使用条件、环境比较恶劣，极易造成数控系统的故障。在工业

现场，电磁环境尤为恶劣，各种电气设备产生电磁干扰，对数控系统的抗电磁干扰能力提出了更高的要求，否则设备将无法正常运行。

3．便于组织生产、降低生产成本、保证产品质量

以最低成本生产出最高质量、满足用户要求的产品，是商品生产的基本要求。数控机床的加工也是如此。电气控制电路设计时就应充分考虑元器件的品质、供应，并应便于安装、调试和维修，以利于保证产品质量和组织生产。

4．保证安全

电气控制电路的设计应高度重视人身安全和设备安全的保证，要符合相关安全规范和标准。各种指示信号应容易识别，操纵机构应容易操作，易切换。

6.2.2　数控系统功能的选择

除基本功能外，数控系统生产厂家还为机床制造厂家提供了多种多样的可选功能。由于常用品牌数控系统的基本功能差别不大，所以合理选择适合本机床的可选功能，放弃可有可无或不实用的可选功能，对提高机床的性价比大有好处。下面介绍几个可选功能供参考。

1．加工轨迹显示功能

该功能用于模拟零件的加工过程，显示真实刀具在毛坯上的切削路径，可以分别选择直角坐标系中的两个不同平面，也可以选择不同视角的三维立体，可以在加工时实时显示，也可以在机械锁定方式下作加工过程的快速描绘，是一种检验零件加工程序、提高编程效率和加工实时监视的有效工具。

2．数据存储与传输功能

通过这一功能可将系统中已经调试完毕的加工程序存入存储器中存档，也可以将在其他计算机中生成的加工程序存入该系统，还可以通过它来做各种机床数据的备份和存储，这些会给编程和操作人员带来很大的方便。此外，若数控系统基于通用操作系统时应注意病毒的问题。

3．刚性加工螺纹功能

加工螺纹是数控机床的一项常用功能，采用不同方式成本不同。刚性加工螺纹必须采用伺服电机驱动主轴，不仅要求在主轴上增加一个位置传感器，还对主轴传动机构的间隙和惯量都有严格要求，其电气设计和调整也有一定的工作量，且使用这个功能可能会增加成本，在选用时需要考虑。

4．网络数控功能

网络数控技术是各种先进制造技术的基本单元，为各种先进制造环境提供基本的技术基础，如远程制造、远程诊断、远程维护等。是否选择此项功能，需考虑实际需要和数控的应用水平。

6.3　数控机床电气设计的一般内容

数控机床的电气设计与数控机床的机械结构设计是分不开的，尤其是现代数控机床的结构及使用效能与电气自动控制的程度是密切相关的，对机械设计人员来说，也需要对数控

机床的电气设计有一定的了解。

下面就数控机床电气设计涉及的主要内容，以及电气控制系统如何满足数控机床的主要技术性能加以讨论。

① 数控机床主要技术性能，即机械传动、液压和气动系统的工作特性，以及对电气控制系统的要求。

② 数控机床的电气技术指标，即电气传动方案，要根据数控机床的结构、传动方式、调速指标，以及对启、制动和正、反向的要求等来确定。

数控机床的主运动与进给运动都有一定调速范围的要求。要求不同，采取的调速传动方案就不同，调速性能的好坏与调速方式密切相关。中小型数控机床，一般采用单速或双速鼠笼式异步电动机，通过变速箱传动；对传动功率较大、主轴转速较低的数控机床，为了降低成本，简化变速机构，可选用转速较低的异步电动机；对调速范围、调速精度、调速的平滑性要求较高的数控机床，可考虑采用交流变频调速和直流调速系统，满足无级调速和自动调速的要求。

由电动机完成数控机床的正反向运动比机械方法简单容易，因此只要条件允许应尽可能地由电动机控制。传动电动机是否需要制动，要根据数控机床的需要而定。对于由电动机实现正反向运动的数控机床，对制动无特殊要求时，一般采用反接制动，可使控制线路简化。在电动机频繁启、制动或经常正、反向运动的情况下，必须采取措施限制电动机的启、制动电流。

③ 数控机床电动机的调速性质应与数控机床的负载特性相适应。调速性质是指转矩、功率与转速的关系。设计任何一个机床电力拖动系统都离不开对负载和系统调速性质的研究，它是选择拖动和控制方案及确定电动机容量的前提。

电动机的调速性质必须与数控机床的负载特性相适应。数控机床的切削运动（主运动）需要恒功率传动，而进给运动需要恒转矩传动。双速异步电动机，定子绕组由三角形改成星形连接时，转速由低速升为高速，功率增加得很小，因此适用于恒功率传动。定子绕组低速为星形连接而高速为双星形连接的双速电动机，转速改变时，电动机所输出的转矩保持不变，因此适用于恒转矩调速。

他励直流电动机改变电压的调速方法属于恒转矩调速，改变励磁的调速方法属于恒功率调速。

④ 正确、合理地选择电气控制方式是数控机床电气设计的主要内容。电气控制方式应能保证数控机床的使用效能和动作程序、自动循环等基本动作要求。现代数控机床的控制方式与数控机床的结构密切相关。由于电子技术和计算技术已深入数控机床控制系统的各个领域，各种新型控制系统不断出现，它不仅关系到数控机床的技术与使用性能，而且也深刻地影响着数控机床的机械结构和总体方案。因此，电气控制方式应根据数控机床的总体技术要求拟定。

⑤ 明确有关操纵方面的要求，在设计中实施。如操纵台的设计、测量显示、故障自诊断、保护等措施的要求。

⑥ 设计还应考虑用户供电电网情况，如电网容量、电流种类、电压及频率。电气设计技术条件是数控机床设计的有关人员和电气设计人员共同拟定的，根据设计任务书中拟定的技术条件，就可以进行设计，实际上电气设计就是把上述的技术条件明确下来付诸实施。

综上所述，机床电气设计应包括以下内容：

- 拟定电气设计任务书（技术条件）；
- 确定电气传动控制方案，选择电动机；
- 设计电气控制原理图；
- 选择电气元件，并制定电气元件明细表；
- 设计操作台、电气柜及非标准电气元件；
- 设计机床电气设备布置总图、电气安装图，以及电气接线图；
- 编写电气说明书和使用操作说明书。

以上电气设计各项内容，必须以有关国家标准为纲领。根据机床的总体技术要求和控制线路复杂程度的不同，以上内容可增可减，某些图样和技术文件可适当合并或增删。

6.4　TK1640 型数控车床电气控制电路

6.4.1　电气原理图的分析方法和步骤

电气原理图分析的基本原则是化整为零、顺藤摸瓜、先主后辅、集零为整、安全保护、全面检查。采用化整为零的原则以某一电动机或电器元件（如接触器或继电器线圈）为对象，从电源开始，自上而下，自左而右，逐一分析其接通断开关系。

电气控制电路一般由主回路、控制电路和辅助电路等部分组成。了解了电气控制系统的总体结构、电动机和电器元件的分布状况及控制要求等内容，便可阅读分析电气原理图。

1．分析主回路

从主回路入手，根据伺服电机、辅助机构电机和电磁阀等执行电器的控制要求，分析它们的控制内容，包括启动、方向控制、调速和制动。

2．分析控制电路

分析控制电路最基本的方法是查线读图。根据主回路中各伺服电机、辅助机构电动机和电磁阀等执行电器的控制要求，逐一找出控制电路中的控制环节，按功能不同划分成若干局部控制线路进行分析。

3．分析辅助电路

辅助电路包括电源显示、工作状态显示、照明和故障报警等部分，它们大多由控制电路中的元件控制，故在分析时需对照控制电路进行。

4．分析连锁与保护环节

机床对于安全性和可靠性有很高的要求，要满足这些要求，除了合理选择元器件和控制方案外，在控制电路中还设置了一系列电气保护和必要的电气连锁。

5．总体检查

经过“化整为零”，逐步分析了每一个局部电路的工作原理及各部分之间的控制关系之后，还必须“集零为整”，检查整个控制电路是否有遗漏。特别要从整体角度去进一步检查和理解各控制环节之间的联系，理解电路中每个元器件所起的作用。

6.4.2　TK1640 数控车床介绍

TK1640 数控车床如图 6-12 所示，是我国宝鸡机床厂研发的产品，采用主轴变频调速、三挡无级变速和 HNC-21T 车床数控系统，可实现机床的两轴联动。机床配有四工位刀架，可满足不同需要的加工；具有可开闭的半防护门，可确保操作人员的安全。机床适用于多品种、中小批量产品的加工，在复杂、高精度零件的加工方面其优越性更明显。



图 6-12　TK1640 数控车床

1．TK1640 数控车床的组成

TK1640 数控车床的传动简图如图 6-13 所示。机床由底座、床身、主轴箱、大拖板（纵向拖板）、中拖板（横向拖板）、电动刀架、尾座、防护罩、电气部分、CNC 系统、冷却润滑等部分组成。

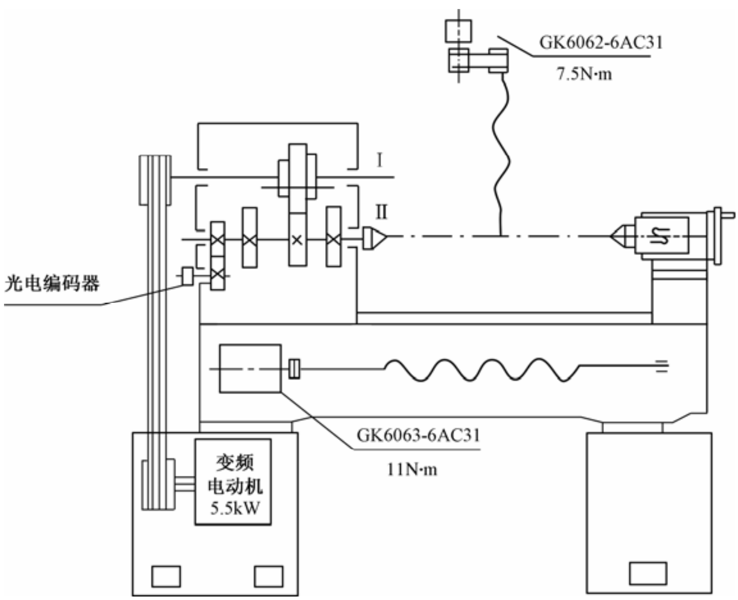


图 6-13　TK1640 数控车床的传动简图

机床主轴的旋转运动由 5.5kW 变频主轴电机经皮带传动至Ⅰ轴，经三联齿轮变速将运动传至主轴Ⅱ，并得到低、中、高速三段范围内的无级变速。

大拖板左右运动方向是 *Z* 坐标方向，其运动由 GK6063-6AC31 交流永磁伺服电机与滚

珠丝杠直联实现；中拖板前后运动方向是 X 坐标方向，其运动由 GK6062-6AC31 交流永磁伺服电机通过同步带及带轮带动滚珠丝杠和螺母实现。

加工螺纹时，为保证主轴转一圈刀架移动一个导程，在主轴箱左侧安装有光电编码器。主轴至光电编码器的齿轮传动比为 1∶1。光电编码器配合纵向进给交流伺服电机，实现加工要求。

2．TK1640 数控车床的技术参数

TK1640 数控车床的部分技术参数见表 6-1。

表 6-1　TK1640 数控车床的部分技术参数

项　　目			技 术 规 格
加工范围	床身上最大回转直径（mm）		Φ410
	床鞍上最大回转直径（mm）		Φ180
	最大车削直径（mm）		Φ240
	最大工件长度（mm）		1 000
	最大车削长度（mm）		800
主轴	主轴通孔直径（mm）		Φ52
	主轴头型式		ISO 702/ⅡNo.6
	主轴转速（r/min）		36～2 000
	高速（r/min）		170～2 000
	中速（r/min）		95～1 200
	低速（r/min）		36～420
	主轴电动机功率（kW）		5.5（变频）
尾座	套筒直径（mm）		Φ55
	套筒行程（手动）（mm）		120
	尾座套筒锥孔		MT No.4
刀架	快速移动速度（*X*/*Z* 向）（m/min）		3/6
	刀位数		4
	刀方尺寸（mm×mm）		20×20
	X 向行程（mm）		200
	Z 向行程（mm）		800
要求精度	机床定位精度（mm）	*X*	0.030
		Z	0.040
	机床重复定位精度（mm）	*X*	0.012
		Z	0.016
其他	机床尺寸 *L*×*W*×*H*（mm×mm×mm）		2 140×1 200×1 600
	机床毛重（kg）		2 000
	机床净重（kg）		1 800

6.4.3　TK1640 数控车床的电气控制电路

TK1640 数控车床的电气控制设备主要器件见表 6-2。

1．机床的运动及控制要求

如前所述，TK1640 数控车床主轴的旋转运动由 5.5kW 变频主轴电动机实现，与机械变速配合得到低速、中速和高速三段范围的无级变速。

表 6-2　TK1640 数控车床电气控制设备主要器件

序号	名　　称	规　　格	主 要 用 途	备注
1	数控装置	HNC-21TD	控制系统	HCNC
2	软驱单元	HFD-2001	数据交换	HCNC
3	控制变压器	AC 380/220V 300W/110V 250W/24V 100W	伺服控制电源、开关电源供电	HCNC
			交流接触器电源	
			照明灯电源	
4	伺服变压器	3P AC 380/220V 2.5kW	伺服电源	HCNC
5	开关电源	AC 220/DCMV145W	HNC-21TD、PLC 及中间继电器电源	明玮
6	伺服驱动器	HSV-16D030	*X*、*Z* 轴电动机伺服驱动器	HCNC
7	伺服电动机	GK6062-6AC31-FE（7.5N · m）	*X* 轴进给电动机	HCNC
8	伺服电动机	GK6063-6AC31-FE（11N · m）	*Z* 轴进给电动机	HCNC

Z 轴、*X* 轴的运动由交流伺服电动机带动滚珠丝杠实现，两轴的联动由数控系统控制。加工螺纹由光电编码器与交流伺服电动机配合实现。除上述运动外，还有电动刀架的转位，冷却电动机的启、停等。

2．主回路分析

图 6-14 所示是 TK1640 数控车床电气控制中的 380V 强电回路。

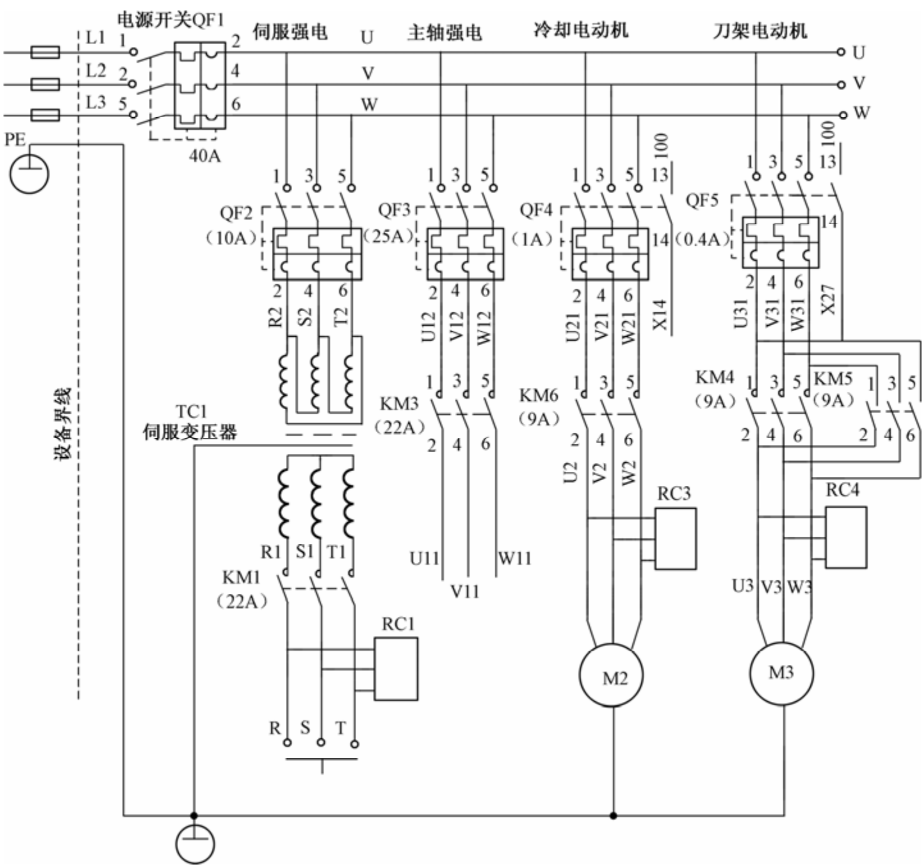


图 6-14　TK1640 数控车床电气控制中的 380V 强电回路

图 6-14 中，QF1 为电源总开关，QF3、QF2、QF4、QF5 分别为主轴强电、伺服强电、冷却电机、刀架电机的空气开关，它们的作用是接通电源及短路、过流时起保护作用。其中 QF4、QF5 带辅助触头，该触点输入到 PLC，作为 QF4、QF5 的状态信号，并且这两个空开的保护电流为可调的，可根据电机的额定电流来调节空开的设定值，起过流保护作用。KM3、KM1、KM6 分别为主轴电机、伺服电机、冷却电机交流接触器，由它们的主触点控制相应的电机；KM4、KM5 为刀架正、反转交流接触器，用于控制刀架的正、反转。TC1 为三相伺服变压器，将交流 380V 电压变为交流 200V，供给伺服电源模块。RC1、RC3、RC4 为阻容吸收部分，当相应的电路断开后，吸收伺服电源模块、冷却电机、刀架电机中的能量，避免产生过电压而损坏元器件。

3．电源电路分析

图 6-15 所示为 TK1640 数控车床电气控制中的电源回路图。

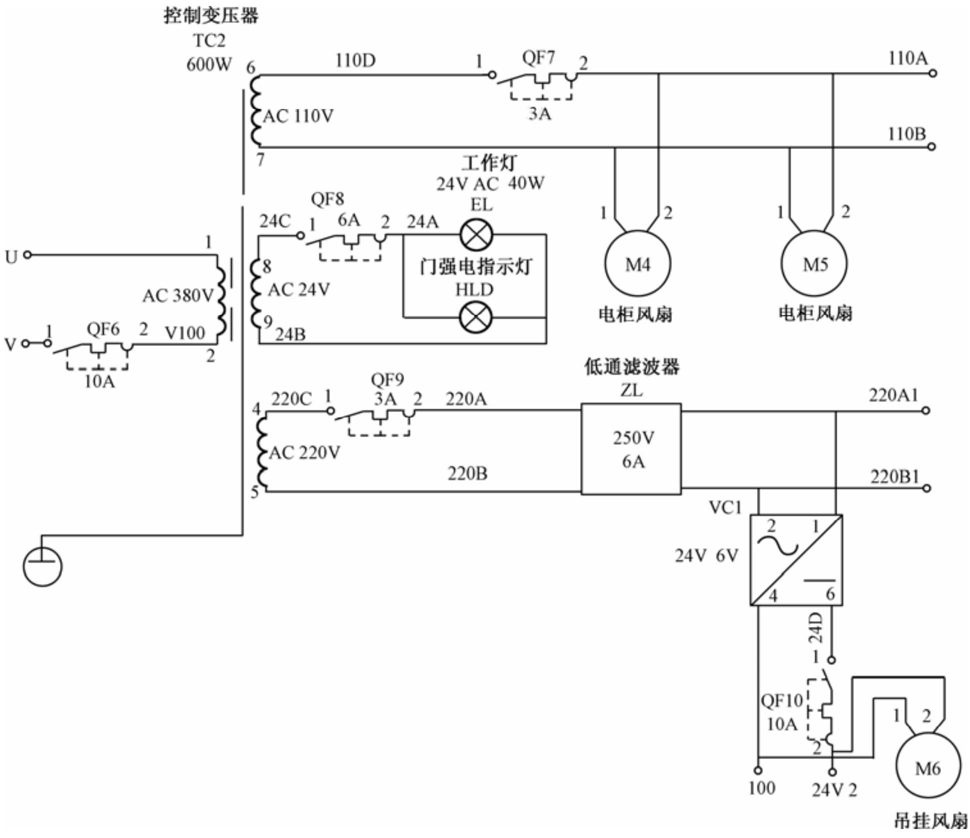


图 6-15　TK1640 数控车床电源回路

图 6-15 中，TC2 为控制变压器，初级为 AC 380V，次级为 AC 110V、AC 220V、AC 24V，其中 AC 110V 给交流接触器线圈和强电柜风扇提供电源；AC 24V 给电柜门指示灯、工作灯提供电源；AC 220V 通过低通滤波器滤波，给伺服模块、电源模块、DC 24V 电源提供电源。VC1 为 24V 电源，将 AC 220V 转换为 DC 24V 电源，给数控系统、PLC 输入/输出、24V 继电器线圈、伺服模块、电源模块、吊挂风扇提供电源；QF6、QF7、QF8、QF9、QF10 空气开关为电路的短路保护。

4．控制电路分析

（1）主轴电机的控制

图 6-16、图 6-17 分别为交流控制回路和直流控制回路。先将 QF2、QF3 空气开关合上，见图 6-14 强电回路。当机床未按下限位开关、伺服未报警、急停按钮未按下、主轴未报警时，KA2、KA3 继电器线圈通电，继电器触点吸合，并且 PLC 输出点 Y00 发出伺服允许信号，KA1 继电器线圈通电，继电器触点吸合，见图 6-17 直流控制回路。在图 6-16 交流控制回路中，KM1 交流接触器线圈通电，交流接触器触点吸合，KM3 主轴交流接触器线圈通电，强电回路中的交流接触器主触点吸合，主轴变频器加上 AC 380V 电压；若有主轴正转或主轴反转及主轴转速指令时（手动或自动），在图 6-17 中，PLC 输出主轴正转 Y10 或主轴反转 Y11 有效，主轴转速指令输出对应于主轴转速的直流电压值（0～10V），主轴按指令值的转速正转或反转；当主轴速度达到指令值时，主轴变频器输出主轴速度到达信号给 PLC，主轴转动指令完成。

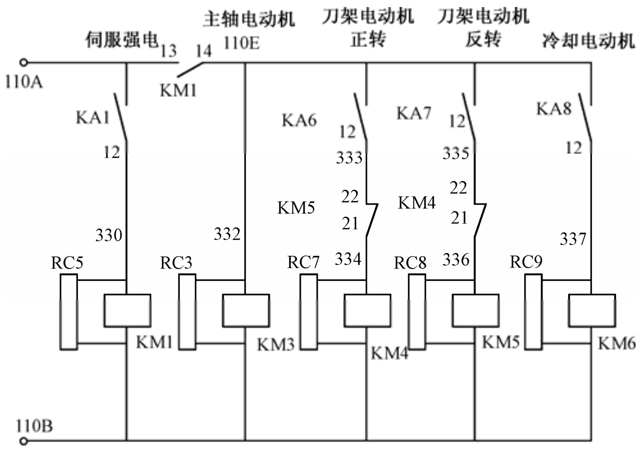


图 6-16　TK1640 数控车床交流控制回路

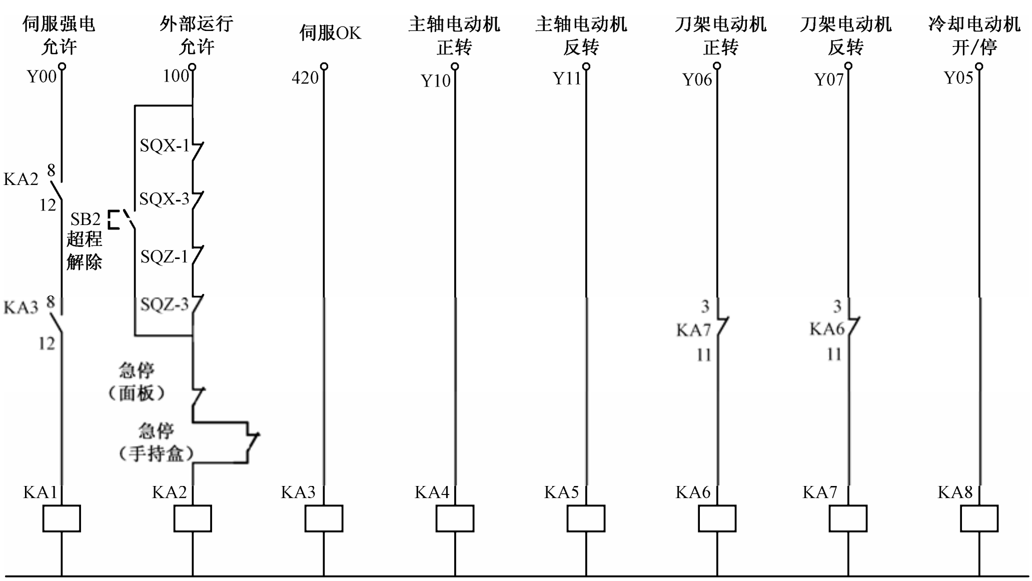


图 6-17　TK1640 数控车床直流控制回路

主轴的启动时间、制动时间由主轴变频器的内部参数设定。

（2）刀架电机的控制

当有手动换刀或自动换刀指令时，经过系统处理转变为刀位信号，这时 PLC 输出 Y06 有效，KA6 继电器线圈通电，继电器触点闭合，KM4 交流接触器线圈通电，交流接触器主触点吸合，刀架电机正转；当 PLC 输入点检测到指令刀具所对应的刀位信号时，PLC 输出 Y06 有效撤销，刀架电机正转停止；接着 PLC 输出 Y07 有效，KA7 继电器线圈通电，继电器触点闭合，KM5 交流接触器线圈通电，交流接触器主触点吸合，刀架电机反转；延时一定时间以后（该时间由参数设定，并根据现场情况作调整），PLC 输出 Y07 有效撤销，KM5 交流接触器主触点断开，刀架电机反转停止，换刀过程完成。为防止电源短路和电气互锁，在刀架电机正转继电器线圈、接触器线圈回路中串入反转继电器、接触器常闭触点，在反转继电器、接触器线圈回路中串入正转继电器、接触器常闭触点，如图 6-16、图 6-17 所示。这里需要注意的是，刀架转位选刀只能一个方向转动，取刀架电机正转。刀架电机反转时，刀架锁紧定位。

（3）冷却电机控制

当有手动或自动冷却指令时，PLC 输出 Y05 有效，KA8 继电器线圈通电，继电器触点闭合，KM6 交流接触器线圈通电，交流接触器主触点吸合，冷却电机旋转，带动冷却泵工作。

6.5　XK714A型数控铣床电气控制电路

6.5.1　XK714A数控铣床介绍

XK714A 数控铣床采用变频主轴，*X*、*Y*、*Z* 三向进给均由伺服电机驱动滚珠丝杠。机床采用 HNC-21M 数控系统，实现三坐标联动；根据用户要求，可提供数控转台，实现四坐标联动；系统具有汉字显示、三维图形动态仿真、双向式螺距补偿、小线段高速插补功能和软/硬盘、RS-232、网络等多种程序输入功能；并具有独有的大容量程序加工功能，在不需要 DNC 的情况下，可直接加工大型复杂型面零件。该机床适合工具、模具、电子、汽车和机械制造等行业对复杂形状的表面和型腔零件进行大、中、小批量加工。如图 6-18 是 XK714A 数控铣床的外形图。



图 6-18　XK714A 数控铣床

1．XK714A数控铣床的组成

XK714A 数控铣床的传动简图如图 6-19 所示。机床主要由底座、立柱、工作台、主轴箱、电气控制柜、CNC 系统、冷却、润滑等部分组成。机床的立柱、工作台部分安装在底座上，主轴箱通过连接座在立柱上移动。其他各部件自成一体，与底座组成整机。

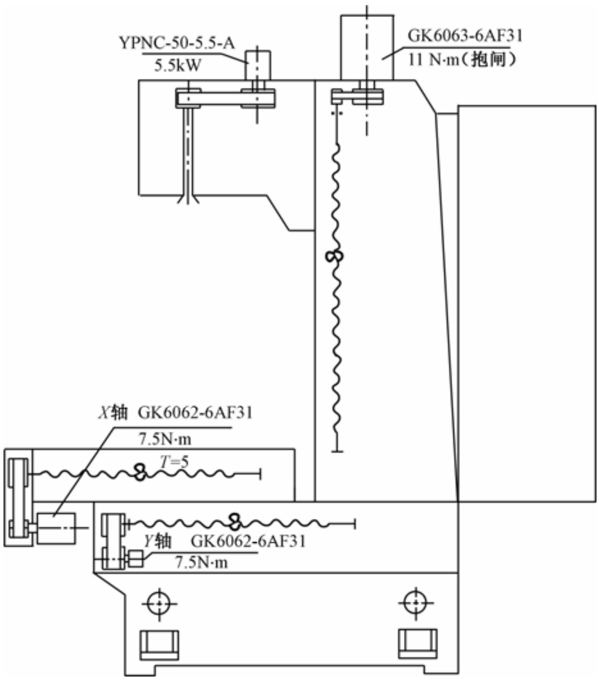


图 6-19　XK714A 数控铣床传动简图

机床工作台左、右运动方向为 *X* 坐标，工作台前、后运动方向为 *Y* 坐标，其运动均由 GK6062-6AF31 交流永磁伺服电机通过同步齿形带及带轮、滚珠丝杠和螺母实现；主轴箱上、下运动方向为 *Z* 坐标，其运动由 GK6063-6AF31 带抱闸的交流永磁伺服电机通过同步齿形带及带轮、滚珠丝杠和螺母实现。

如图 6-19 所示，机床的主轴旋转运动由 YPNC-50-5.5-A 主轴电机经同步带及带轮传至主轴。主轴电机为变频调速三相异步电机，由数控系统控制变频器的输出频率，实现主轴无级调速。

机床有刀具松/紧电磁阀，以实现自动换刀；为了在换刀时将主轴锥孔内的灰尘清除，机床还配备了主轴吹气电磁阀。

2．XK714A数控铣床的技术参数

XK714A 数控铣床的主要技术参数见表 6-3。

表 6-3　XK714A 数控铣床的主要技术参数

工作台（宽×长）（mm×mm）		400×1 270
工作台负载（kg）		380
工作台最大行程（mm）	*X*	800
	Y	400
	Z	500

续表

工作台 T 形槽（宽×个数）	16mm×3
工作台高度（mm）	900
X/*Y*/*Z* 轴快移速度（mm/min）	5 000（特殊 10 000）
X/*Y*/*Z* 轴进给速度（mm/min）	3 000
定位精度（mm）	0.01/300
重复定位精度（mm）	±0.005
X 轴电机（N·m）	7.5
Y 轴电机（N·m）	7.5
Z 轴电机（N·m）	11
主轴锥度	BT40
主轴电机功率（kW）	3.7/5.5
主轴转速（r/min）	60～6 000
最大刀具质量（kg）	7
最大刀具直径（mm）	180
主轴鼻端至工作台面（mm）	85～585
主轴中心至立柱面（mm）	423
工作台内侧至立柱面（mm）	85～535
机床净重（kg）	2 500
机床外形尺寸（长×宽×高）（mm×mm×mm）	1 780×1 980×2 235

6.5.2　XK714A数控铣床的电气控制电路

XK714A 数控铣床电气控制电路的分析方法、步骤与前述数控车床相同，这里不再赘述。下面是 XK714A 数控铣床电气控制电路的具体分析。

1．主回路分析

图 6-20 所示为 XK714A 数控铣床的 380V 强电回路，QF1 为电源开关，QF3、QF2、QF4 分别为主轴强电、伺服强电、冷却电机的空气开关，其中 QF4 带辅助触头，该触头接入 PLC 作为冷却电机的报警信号，并且该空开关为电流可调，可根据电机的额定电流来调节空开关的设定值，起到过流保护作用；KM2、KM1、KM3 分别为控制主轴电机、伺服电机、冷却电机交流接触器，由它们的主触点控制相应电机；TC1 为主变压器，将交流 380V 电压变为交流 220V，供给伺服电源模块；RC1、RC2、RC3 为阻容吸收部分，当相应的电路断开后，吸收伺服电源模块、主轴变频器、冷却电机的能量，避免上述器件产生过电压。

2．电源电路分析

图 6-21 为 XK714A 数控铣床的电源回路。TC2 为控制变压器，初级为 AC 380V，次级为 AC 110V、AC 220V、AC 24V，其中 AC 110V 给交流控制回路和电柜热交换器提供电源；AC 24V 给工作灯提供电源；AC 220V 给主轴风扇电机、润滑电机和 24V 电源供电，并通过低通滤波器滤波，给伺服模块、电源模块、DC 24V 电源提供电源控制；VC1、VC2 为 24V 电源，将 AC 220V 转换为 DC 24V，其中 VC1 给数控系统、PLC 输入/输出、24V 继电器线圈、伺服模块、电源模块、吊挂风扇提供电源，VC2 给 *Z* 轴电机提供 DC 24V 电压，用于 *Z* 轴抱闸；QF7、QF10、QF11 空气开关为电路的短路保护。

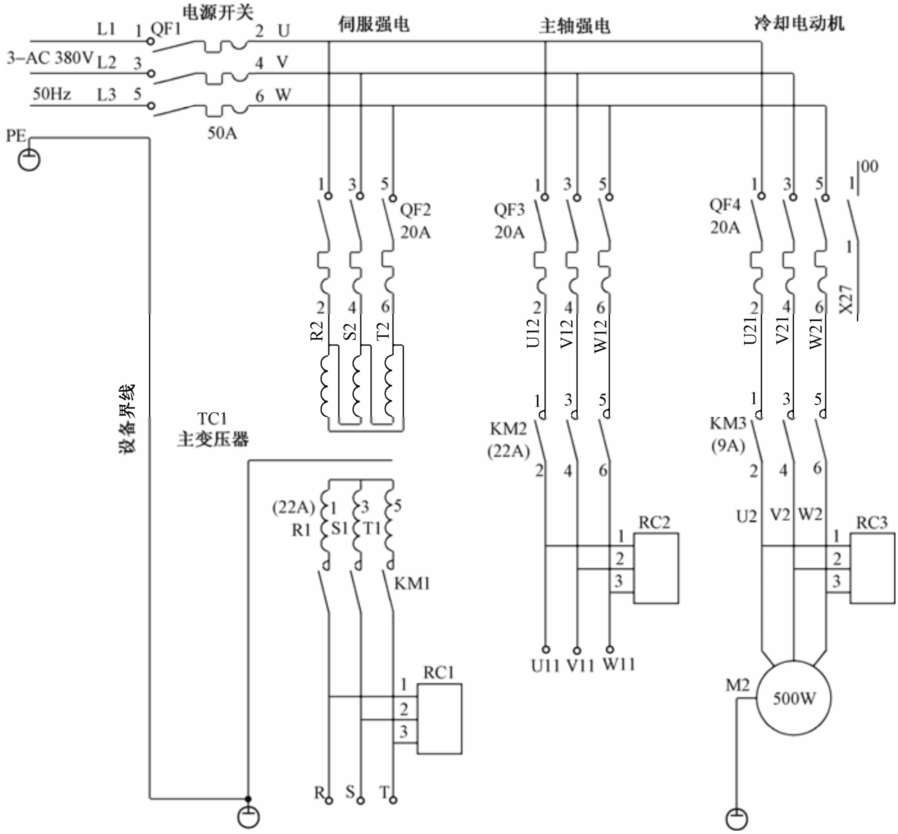


图 6-20　XK714A 数控铣床强电回路

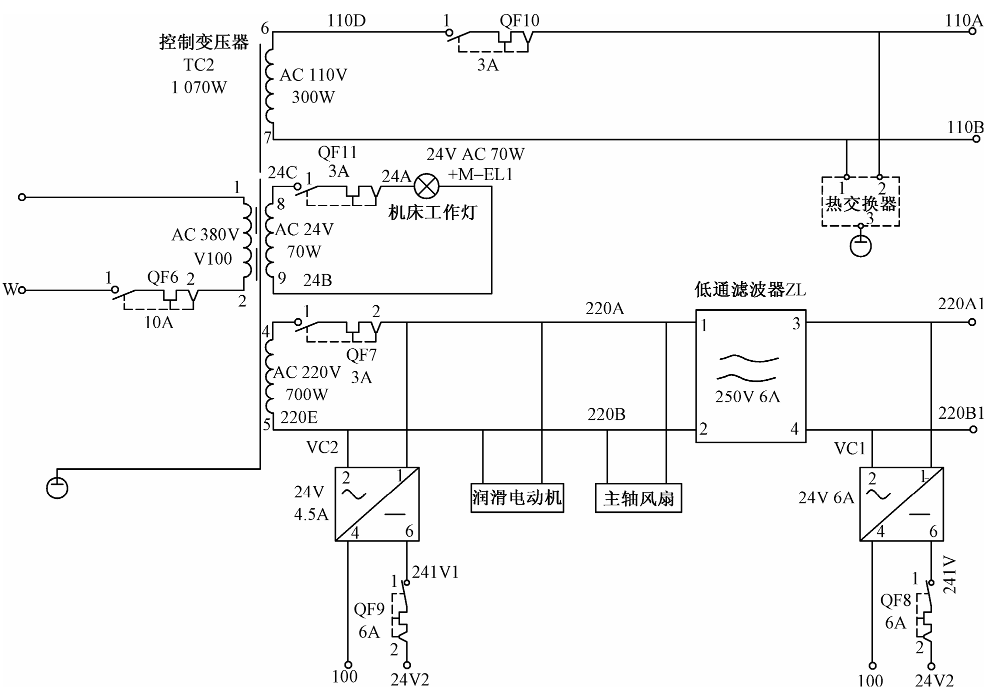


图 6-21　XK714A 数控铣床电源回路

3．控制电路分析

（1）主轴电机的控制

交流控制回路和直流控制回路分别如图 6-22、图 6-23 所示。

先将 QF2、QF3 空开合上，当机床未按下限位开关、伺服未报警、急停按钮未按下、主轴未报警时，外部运行 KA2、KA3 继电器线圈通电，继电器触点吸合，并且 PLC 输出点 Y00 发出伺服允许信号，KA1 继电器线圈通电，继电器触点吸合，见图 6-23 直流控制回路；在图 6-22 交流控制回路中，KM1、KM2 交流接触器线圈通电，交流接触器触点吸合，主轴变频器加上 AC 380V 电压；若有主轴正转或主轴反转及主轴转速指令时（手动或自动），PLC 输出主轴正转 Y10 或主轴反转 Y11 有效，主轴转速指令输出对应于主轴转速值，主轴按指令值的转速正转或反转；当主轴速度达到指令值时，主轴变频器输出主轴速度到达信号给 PLC，主轴转动指令完成。

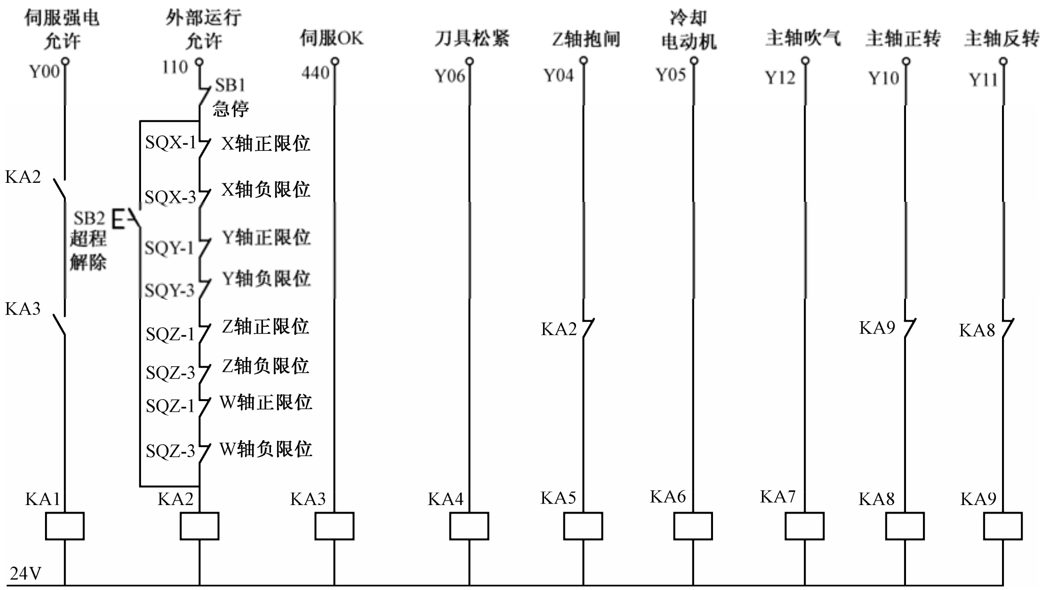


图 6-22　XK714A 数控铣床交流控制回路

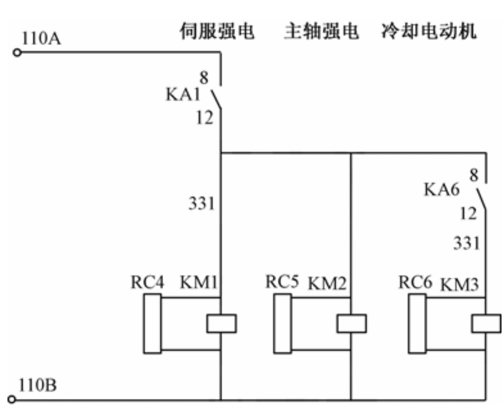


图 6-23　XK714A 数控铣床直流控制回路

主轴的启动时间、制动时间由主轴变频器的内部参数设定。

（2）冷却电机控制

当有手动或自动冷却指令时，PLC 输出 Y05 有效，KA6 继电器线圈通电，继电器触点闭合，KM3 交流接触器线圈通电，交流接触器主触点吸合，冷却电机旋转，带动冷却泵工作。

（3）换刀控制

当有手动或自动刀具松开指令时，PLC 输出 Y06 有效，KA4 继电器线圈通电，继电器触点闭合，刀具松/紧电磁阀通电，刀具松开，手动将刀具拔下；延时一定时间后，PLC 输出 Y12 有效，KA7 继电器线圈通电，继电器触点闭合，主轴吹气电磁阀通电，清除主轴锥孔内的灰尘。延时一定时间后（该时间由参数设定，并根据现场情况作调整），PLC 输出 Y12 有效撤销，主轴吹气电磁阀断电；将加工所需刀具放入主轴锥孔后，机床 CNC 装置控制 PLC 输出 Y06 撤销，刀具松/紧电磁阀断电，刀具夹紧，换刀结束。

6.6 本章小结

本章围绕数控机床电气控制回路的设计和规则展开学习，重点介绍了数控机床控制电路的设计及其注意事项，并给出了数控机床电器设计的一般内容，为读者掌握数控机床的电气控制及其设计打下基础。

在此基础上，详细介绍了 TK1640 型数控车床和 XK714A 型数控铣床的电气控制电路，给出了相应的直流和交流控制回路，并进行了详细的分析。读者结合机床电气控制回路的设计方法和原则，可加深对数控机床控制回路设计方法的理解。

6.7 思考与练习

1．机床电气控制电路的设计方法有哪几种？区别是什么？

2．简述数控机床电气控制电路设计的原则。

3．有一台进给伺服电动机用于控制系统，属短期工作制（即频繁启动、停止），电动机容量（功率）应如何选择？

4．以 TK1640 型数控车床为例，说明车削螺纹的工作原理。

5．电动机的正转和反转控制电路是绝对不允许同时接通的，试以 TK1640 型数控车床为例，找出其电气连锁保护环节。

6．试述在铣削加工中心机床上，刚性加工螺纹和柔性加工螺纹的工作原理及其对机床结构的要求。

第 7 章　数控机床电气及PLC控制技术项目训练实例

【本章重点】

- 熟悉常用低压电器的用途和基本结构;
- 掌握 PLC 外部电路的接法和基本指令的使用;
- 掌握 PLC 在数控机床控制技术中的应用;
- 掌握数控机床控制接线方法;
- 根据控制要求正确选择低压电器。

7.1　三相异步电动机单方向启动、停止及点动控制

本项目训练的目的包括以下几方面：

① 熟悉常用低压电器的结构、原理和使用方法；
② 了解电气控制电路的基本组成；
③ 理解三相异步电动机单方向启动、停止及点动的原理，熟悉控制电路的结构；
④ 掌握继电器控制线路的连接方法。

7.1.1　启动、停止控制线路

笼型三相异步电动机的启动、停止控制线路是应用最广泛也是最基本的控制线路。如图 7-1 所示，它由刀开关 QS、熔断器 FU1、接触器 KM 的主触头、热继电器 FR 的热元件和电机 M 构成主电路，由启动按钮 SB2、停止按钮 SB1、接触器 KM 的线圈及其常开辅助触头、热继电器 FR 的常闭触头和熔断器 FU2 构成控制回路。电动机的启动有全压启动和减压启动两种方式。较大容量（大于 10kW）的电动机，因启动电流较大（可达额定电流的 4～7 倍），一般采用减压启动方式来降低启动电流。

该控制线路的工作原理为：启动时，合上 QS，引入三相电源。按下 SB2，交流接触器 KM 的线圈通电，KM 的主触头闭合，电动机接通电源直接启动运转。同时，与 SB2 并联的接触器 KM 的常开触头闭合，使接触器 KM 线圈经两条路通电。这样，当手松开、SB2 自动复位时，接触器 KM 的线圈仍可通过其常开触头的闭合而继续通电，从而保持电动机的连续运行。这种依靠接触器自身辅助触头使其线圈保持通电的现象称为“自锁”，起自锁作用的辅助触头称为自锁触头。

要使电动机 M 停止运转，只要按下停止按钮 SB1，将控制电路断开即可。按下 SB1，KM 线圈断电释放，KM 的三个常开主触头断开，切断三相电源，电动机 M 停止运转。松开按钮，SB1 虽复位成常闭状态，但 KM 的自锁常开触头已断开，KM 线圈不能再依靠自锁而通电。

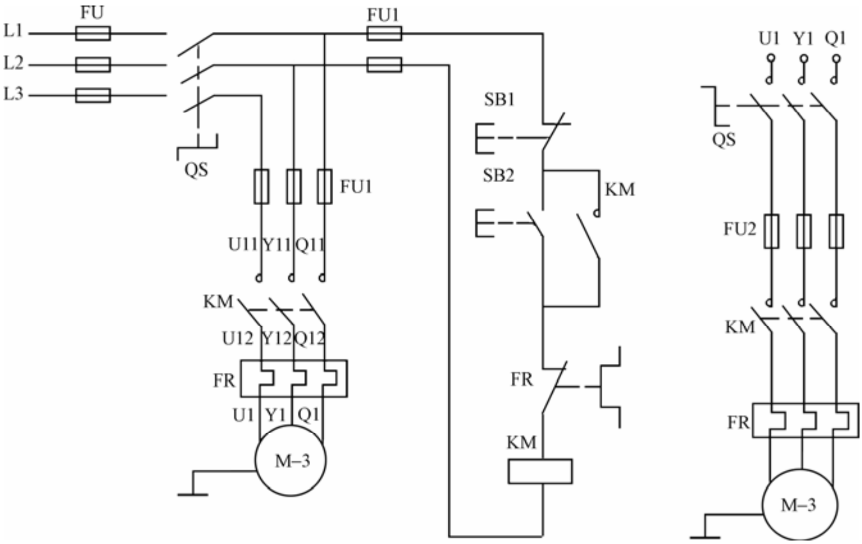


图 7-1　笼型三相异步电动机的启动、停止控制线路

7.1.2　点动控制线路

所谓点动，即按下按钮时电机转动工作，松开按钮电动机停止工作。点动控制多用于机床刀架、横梁、立柱等的快速移动和机床对刀等场合。图 7-2 列出了实现点动控制的几种电气控制线路。

图 7-2（a）是最基本的点动控制线路。启动按钮 SB 没有并联接触器 KM 的自锁触头，按下 SB，KM 线圈通电，电动机启动；松开按钮 SB 时，接触器 KM 线圈又断电，其主触点断开，电机停止运转。

图 7-2（b）是带手动开关 SA 的点动控制线路。当需要点动控制时，把开关 SA 断开，由按钮 SB2 来进行点动控制。当需要正常运行时，只要把开关 SA 合上，将 KM 的自锁触点接入，即可实现连续控制。

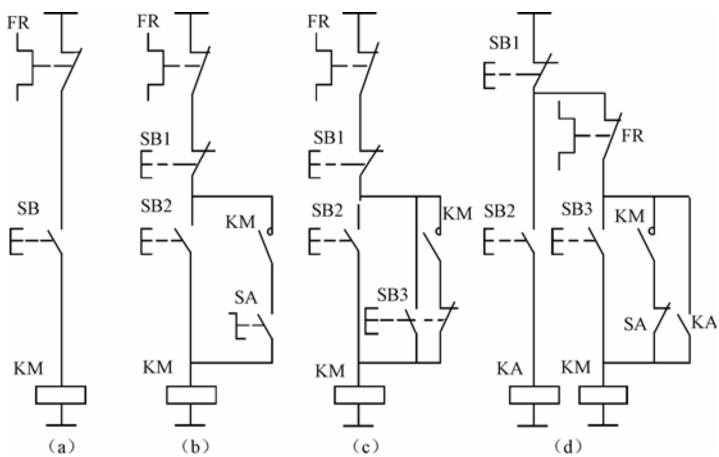


图 7-2　实现点动的几种控制线路

图 7-2（c）中增加了一个复合按钮 SB3 来实现点动控制。需要点动控制时，按下点动

控制按钮 SB3，其常闭触点先断开自锁电路，常开触点后闭合，接通启动控制电路，KM 线圈通电，接触器衔铁被吸合，主触点闭合，接通三相电源，电动机启动运转。当松开点动按钮 SB3 时，KM 线圈断电，KM 主触点断开，电机停止运转。

图 7-2（d）是利用中间继电器实现点动控制的线路。利用点动按钮 SB2 控制中间继电器 KA，KA 的常开触头并联在按钮 SB3 两端以控制接触器 KM，再由 KM 控制电动机实现点动。当需要连续控制时，由按钮 SB3 和 SB1 实现。

7.1.3　多点控制线路

在大型生产设备上，为使操作人员在不同方位均能进行启/停操作，常常要求组成多点控制线路。多点控制线路只需多用几个启动按钮和停止按钮，无须增加其他电气元件。启动按钮应并联，停止按钮应串联，分别装在几个地方，如图 7-3 所示。

通过上述分析，可得出普遍性结论：若几个电器都能控制某接触器通电，则几个电器的常开触头应并联接到接触器的线圈电路中，即逻辑“或”的关系；若几个电器都能控制某接触器断电，则几个电器的常闭触头应串联接到接触器的线圈电路中，即逻辑“与”的关系。

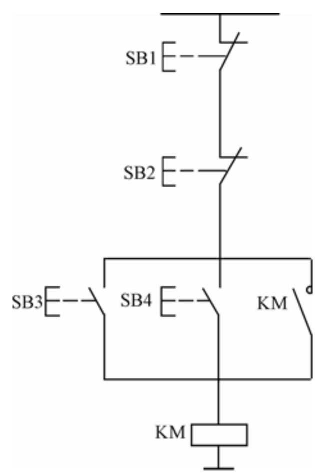


图 7-3　多点控制线路

7.1.4　可逆运行控制线路

各种生产机械常常要求具有上、下、左、右、前、后等相反方向的运动，这就要求电动机能够实现可逆运行。三相交流电动机可借助正、反向接触器改变定子绕组相序来实现。为避免正、反向接触器同时通电造成电源相间短路故障，正、反向接触器之间需要有一种制约关系——互锁，保证它们不能同时工作，图 7-4 给出了两种可逆控制线路。

图 7-4 中图是电动机“正—停—反”可逆控制线路，利用两个接触器的常闭触头 KM1 和 KM2 相互制约，即当一个接触器通电时，利用其串联在对方接触器线圈电路中的常闭触头的断开来锁住对方线圈电路。这种利用两个接触器的常闭辅助触头互相控制的方法称为“互锁”，起互锁作用的两对触头称为互锁触头。

这种只有接触器互锁的可逆控制线路在正转运行时，要想反转必先停车，否则不能反转，因此叫做“正—停—反”控制线路。

图 7-4 右图是电动机“正—反—停”控制线路，采用两只复合按钮实现。在这个线路中，正转启动按钮 SB2 的常开触头用来使正转接触器 KM1 的线圈瞬时通电，其常闭触头则串联在反转接触器 KM2 线圈的电路中，用来锁住 KM2。反转启动按钮 SB3 也按 SB2 的道理同样安排，当按下 SB2 或 SB3 时，首先是常闭触头断开，然后才是常开触头闭合。这样在需要改变电动机运动方向时，就不必按 SB1 停止按钮，直接操作正、反转按钮即能实现电动机可逆运转。这个线路既有接触器互锁，又有按钮互锁，叫做具有双重互锁的可逆控制线路，为机床电气控制系统所常用。

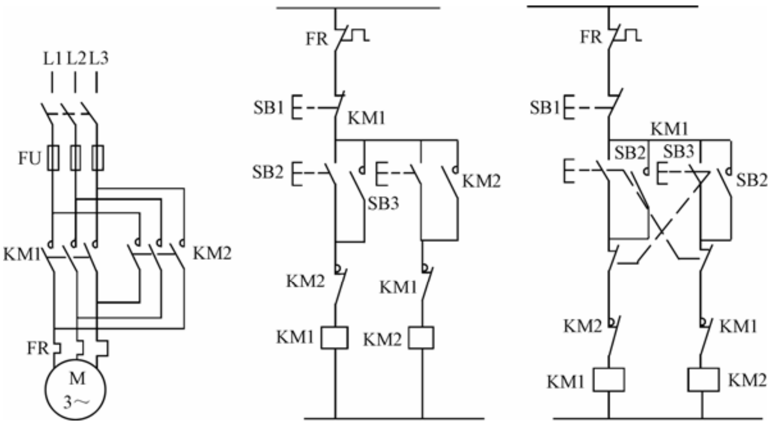


图 7-4　三相异步电动机的正、反转控制线路

1．实验设备

① YS6324 型 180W 三相异步电动机一台；
② CJ20-12 型交流接触器一个；
③ 红、绿、黑按钮各一个；
④ JR20-5 热继电器一个：
⑤ DZ47 型三相小容量熔断器一个；
⑥ 导线若干。

2．实验线路

三相异步电动机单方向启动/停止、点动控制、正/反转控制电路如图 7-1～图 7-4 所示。“一按（点）就动，一松（放）就停”的电路称为点动控制电路，点动控制电路主要用于调整机床、对刀操作等，因短时工作，电路中可以不设热继电器。

3．合理安放实验电器的位置

接线前应合理安放实验电器的位置，通常以便于操作为原则；各电器间距离应适当，以连线整体、便于检查为准；主令电器应放在便于操作的位置；导线的截面积和长度应合理选择。

4．实验线路的连接

要掌握接线的一般规律：先接主电路，后接控制电路；先接串联回路，后接并联回路；先接控制触点，后接保护触点；最后接执行电器的励磁线圈。这样能最大限度地保证线路的正确性和接线的速度。

接线时应注意：

第一，不接短路线；

第二，确保所有实验线路都是从电源开关（如低压断路器）出线端引出；

第三，连接线路时，电器触点的上端点和下端点不要弄错；

第四，注意控制按钮的颜色，通常停止按钮为红色，启动按钮为绿色或黑色。

接线完成并全面检查无误后，方可通电试运行。改变接线时，应先切断电源。

7.2　FX2N系列PLC的硬件连接与基本指令练习

7.2.1　PLC与电源连接

图 7-5 是 FX2N 系列 PLC 基本单元、扩展单元、扩展模块与供电电源间的接线图，所需 AC 电源额定电压为 AC 100～240V（电压允许范围为 AC 85～264V），额定频率 50/60Hz。

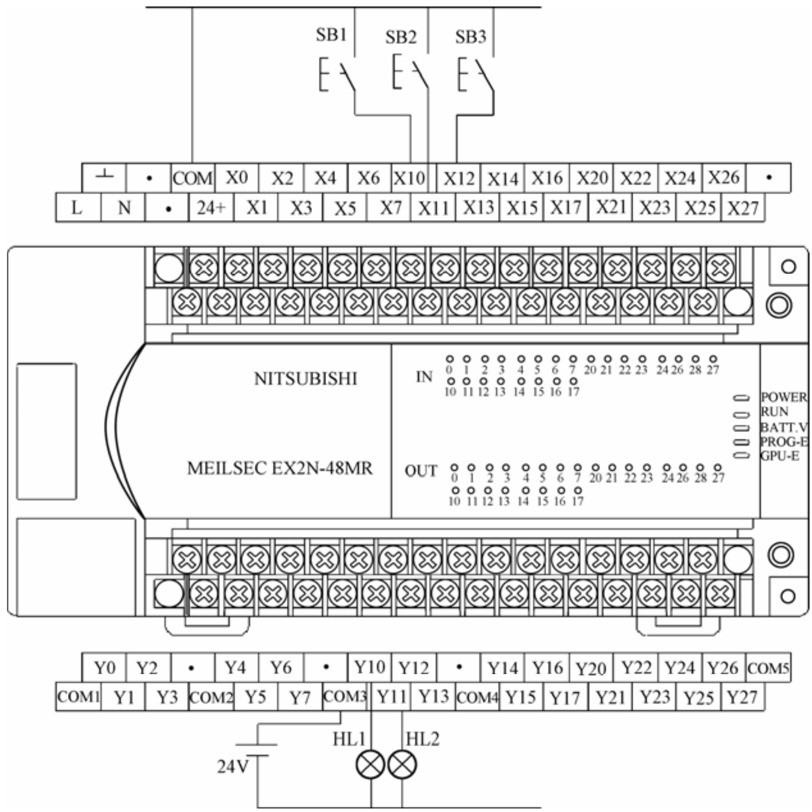


图 7-5　FX2N 系列 PLC 外部接线图

当长时间断电或电压异常下降时，PLC 停止工作、输出处在“OFF”状态，当电源恢复供电时，PLC 重新自动运行，此时 RUN 输出处在“ON”状态。

外部接线时用 L 端子与 N 端子接 AC 电源，各模块电源配线均需用 2.2mm 以上电线。基本单元的接地端子通过导线接地，再将其余各模块接地端子通过导线接至基本单元的接地导线上。

基本单元的 COM 接线端子与各扩展单元的 COM 互连，而基本单元和扩展单元的 24+ 端子则不能互连。

7.2.2　PLC输入接口连接

为了防止输入接口外部的振动噪声和输入线噪声进入 PLC 内部输入电路，PLC 内部的一次和二次输入电路间用光耦合器隔离，二次电路中设有 C-R 滤波器，因此输入信号在 ON/OFF 或 OFF/ON 变化过程会在 PLC 内形成 10ms 的应答滞后。

图 7-6 为 FX2N 系列 PLC 输入接口外部元件接线图，各个外部输入元件的一端接 *X* 输入接口端子，另一端接 PLC 的 COM 端。

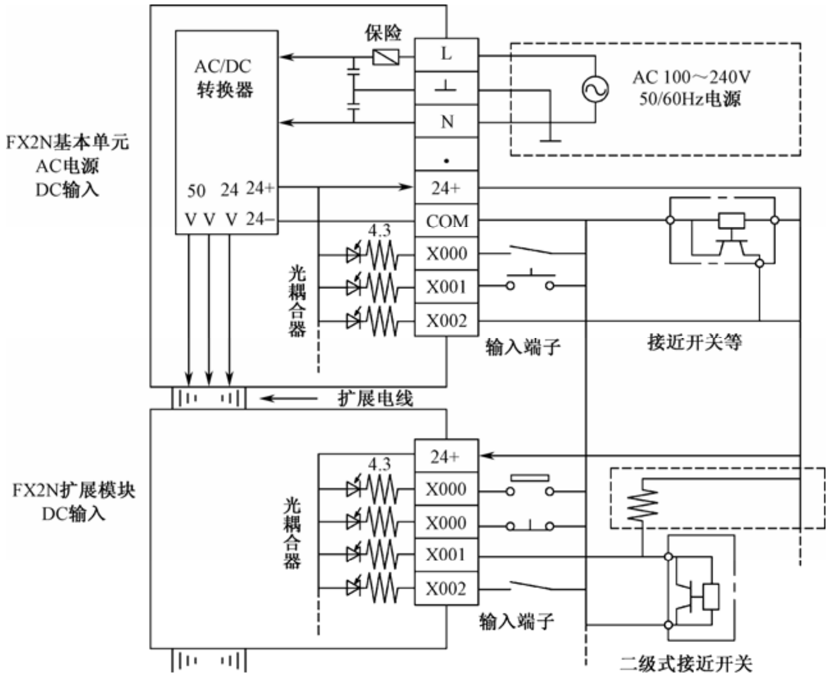


图 7-6　FX2N 系列 PLC 输入接口外部元件接线图

FX2N 系列 PLC 输入电流为 DC 24V（7mA），X010 以后是 24V（5mA），即当输入信号为“ON”时，输入接口通入电流需在 4.5mA 以上，输入信号为“OFF”时，通入电流需小于 1.5mA；对于接近开关，除了与 *X* 输入端子、COM 端子相连外，还需接至 24+端子。

7.2.3　PLC输出接口连接

1．继电器输出接线

继电器输出型接口端子是 4 点或 8 点公用型输出端子，各公共端子编号分别为 COM1～COM10，各个输出接口端子可以连接并驱动 AC 200V、AC 100V 和 DC 24V 等不同电路电压的负载，PLC 内部输出继电器线圈和接口端子之间、PLC 内部电路与外部负载电路之间均有电隔离。

图 7-7 是 FX2N 系列 PLC 继电器输出接线示例图。继电器线圈通电时，PLC 外壳上对应该继电器线圈的输出动作 LED 指示灯亮，输出接口状态为“ON”；断电时 LED 灯熄，进入“OFF”状态。输出继电器线圈“ON”状态与“OFF”状态之间的转换时间为 10ms。

负载接线时一端接在 *Y* 输出接口端子上，另一端则接至驱动电源；驱动电源一端与负载相连，另一端则与 COM 接口端子相连。由于 PLC 内部输出电路中无保护环节，所以驱动电源与 COM 接口端子间应设熔断器。对于交流感性负载，应并联浪涌吸收器，见 Y003 接口接线示例；而对于直流感性负载，则须并联续流二极管，连接应注意正负极性，见 Y005、Y007 接口接线示例。

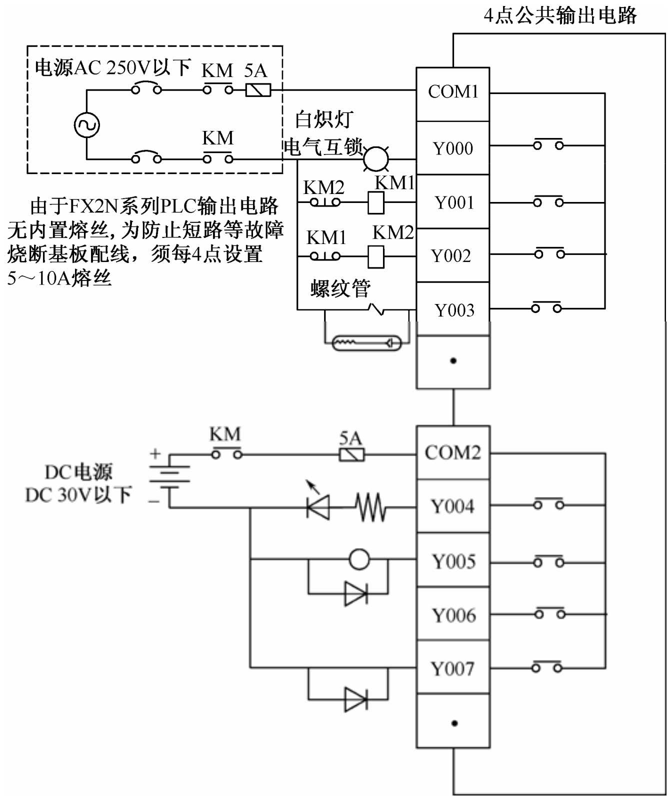


图 7-7　继电器输出接线示例图

两个输出接口电路不能同时输出“ON”时，应采用双重互锁确保安全，即除了 PLC 内部程序互锁外，输出接口外部同时通过接触器触头互锁，见 Y001、Y002 接口端子上通过接触器控制电动机正反转的接线示例。

2. 晶闸管输出接线

晶闸管又称三端双向可控硅开关元件，晶闸管输出接口为 4 点或 8 点公共输出型接口电路，可以连接并驱动 AC 100V、AC 200V 等不同电路电压的负载，PLC 内部电路和晶闸管之间采用光控晶闸管绝缘。

图 7-8 是 FX2N 系列 PLC 晶闸管输出接线示例图。光控晶闸管驱动信号为“ON”时，PLC 外壳上对应该晶闸管的 LED 指示灯亮。光控晶闸管从“OFF”状态转换为“ON”状态的时间不超过 1ms。负载一端与晶闸管 *Y* 输出接口端子相接，另一端接至驱动电源的一极，驱动电源另一端接在 COM 输出接口端子上。由于晶闸管输出端并联了用于断开电路的 R-C 吸收器，所以开路时产生 1mA/AC 100V、2mA/AC 200V 的漏电流，即使晶闸管输出为“OFF”，该漏电流仍使额定工作电流值低的小型继电器及微量电流负载工作，因此晶闸管输出接口上负载的工作电流不能低于漏电流值，对于低于漏电流的负载，如氖灯，必须并联脉冲吸收器，见 Y002、Y003、Y007 接线端示例。

对于输出端信号不允许同时为“ON”的正反转接触器负载的外部接线，除了 PLC 内部程序互锁外，还须实现外部接线的电气互锁。

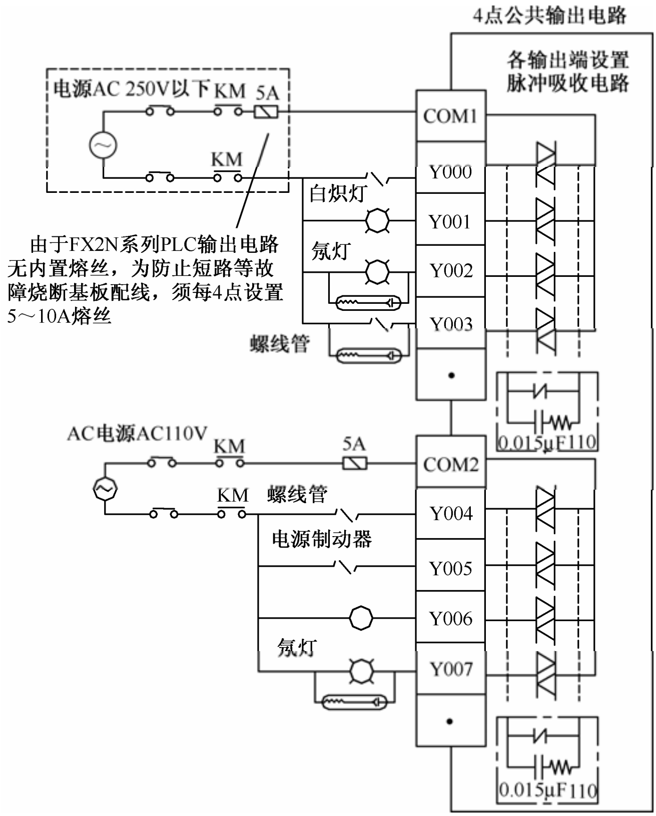


图 7-8　晶闸管输出接线示例图

3．晶体管输出接线

晶体管输出端负载电源选用 DC 5～30V 直流电源，PLC 内部电路与输出晶体管之间用光电耦合器进行光电隔离，光电耦合器从“OFF”状态转换为“ON”状态所需的响应时间为 0.5ms，在“ON”状态时，PLC 外壳上对应的 LED 指示灯亮。

对于不能同时为“ON”的负载，见其 Y004、Y005 输出端口接线示例，需在外部采用电气互锁接线。

7.2.4　FX2N系列PLC基本指令练习

1．逻辑取及输出指令

（1）指令作用

LD（取）为常开触头逻辑运算起始指令，LDI（取反）则为常闭触头逻辑运算起始指令，OUT（输出）用于线圈驱动，其驱动对象有输出继电器（Y）、辅助继电器（M）、状态继电器（S）、定时器（T）、计数器（C）等。OUT 指令不能用于输入继电器，OUT 指令驱动定时器（T）、计数器（C）时，必须设置常数 K 或数据寄存器值。

（2）使用示例

图 7-9 是由 LD、LDI、OUT 指令组成的梯形图，其中 OUT M100 和 OUT TO 的线圈可并联使用。

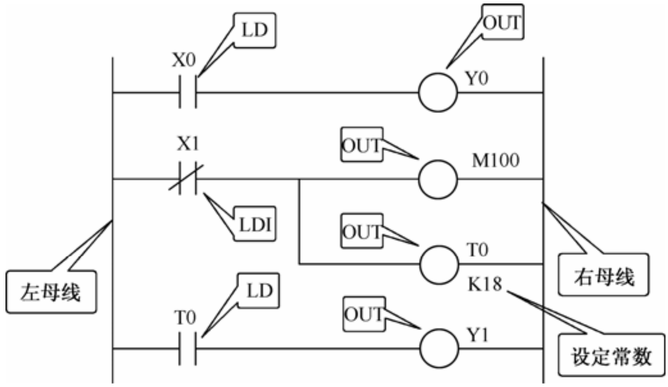


图 7-9　LD、LDI、OUT 指令组成的梯形图

该梯形图对应的语句指令程序为：

程序步	语句		注释
1	LD	X0	// 与左母线相连
2	OUT	Y0	// 驱动线圈
3	LDI	X1	
4	OUT	M100	// 驱动通用辅助继电器
5	OUT	T0	// 驱动定时器
K19			// 设定常数
6	LD	TO	
7	OUT	Y1	

2．触头串联指令

（1）指令作用

AND（与）用于常开触头串联连接，ANI 则用于常闭触头串联连接。串联触头的个数没有限制，理论上该指令可以无限次重复使用，实际中由于图形编程器和打印机的功能有限制，一般一行不超过 10 个触头和 1 个线圈，而连续输出总共不超过 24 行。

（2）使用示例

图 7-10 是由 AND、ANI 指令组成的梯形图。OUT 指令之后可通过触头对其他线圈使用 OUT 指令，称为纵向输出或连续输出。如在 OUT　M101 指令后，可通过触头 T1 对线圈 Y4 使用 OUT 进行连续输出，如果顺序不错，可多次重复使用连续输出。梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X2
AND     X0        // 串联常开触头
OUT     Y3
LD      Y3
ANI     X3        // 串联常闭触头
OUT     M101
AND     T1        // 串联触头
OUT     Y4        // 连续输出
```

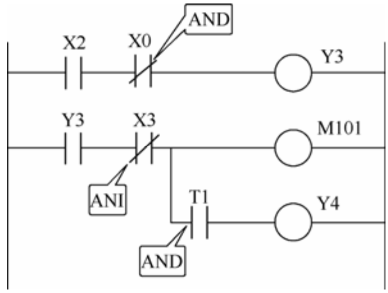


图 7-10　AND、ANI 指令组成的梯形图

3．触头并联指令

（1）指令作用

OR（或）是常开触头并联连接指令，ORI（或反）是常闭触头并联连接指令。除第一行并联支路外，其余并联支路上若只有一个触头就可使用 OR、ORI 指令。OR、ORI 指令一般跟在 LD、LDI 指令后，对 LD、LDI 指令规定的触头再并联一个触头。

（2）使用示例

图 7-11 是由 OR、ORI 指令组成的梯形图。OR、ORI 指令只能将一个触头并联到一条支路的两端，即梯形图中 M103 或 M110 所在支路只有一个触头。梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X4
OR      X6          // 并联一个常开触头
ORI     M102        // 并联一个常闭触头
OUT     Y5
LDI     Y5
AND     X7
OR      M103        // 并联一个常开触头
ANI     X10
ORI     M110        // 并联一个常闭触头
OUT     M103
```

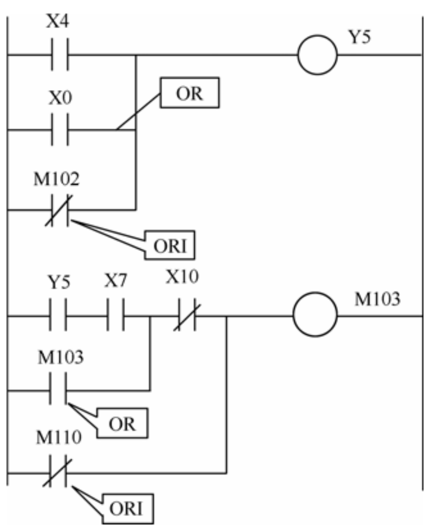


图 7-11　OR、ORI 指令组成的梯形图

4．边沿检测脉冲指令

（1）指令作用

LDP（取脉冲上升沿）是上升沿检测运算开始指令，LDF（取脉冲下降沿）是下降沿脉冲运算开始指令，ANDP（与脉冲上升沿）是上升沿检测串联连接指令，ANDF（与脉冲下降沿）是下降沿检测串联连接指令，ORP（或脉冲上升沿）是上升沿检测并联连接指令，ORF（或脉冲下降沿）是下降沿检测并联连接指令。

LDP、ANDP、ORP 指令用于检测触头状态变化的上升沿，当上升沿到来时，使其操作对象接通一个扫描周期，又称为上升沿微分指令。LDF、ANDF、ORF 指令用于检测触头状态变化的下降沿，当下降沿到来时，使其操作对象接通一个扫描周期，又称为下降沿微分指令。这些指令的操作对象有 X、Y、M、S、T、C 等。

（2）使用示例

图 7-12 是由 LDP、ORF、ANDP 指令组成的梯形图。在 X2 的上升沿或 X3 的下降沿时线圈 Y0 接通；对于线圈 M0，需在常开触头 M3 接通且 T5 上升沿时才接通。

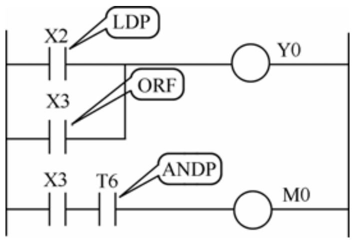


图 7-12　LDP、ORF、ANDP 指令组成的梯形图

梯形图对应的语句指令程序为：

```
LDP     X2          // 取脉冲上升沿
ORF     X3          // 或脉冲下降沿
OUT     Y0
LD      M3
ANDP    T5          // 与脉冲上升沿
OUT     M0
```

5．块或、块与指令

（1）指令作用

两个或两个以上的触头串联连接的电路称为串联电路块，块或 ORB 指令的作用是将串联电路块并联连接，连接时，分支开始用 LD、LDI 指令，分支结束则用 ORB 指令。

两个或两个以上的触头并联连接的电路称为并联电路块，块与 ANB 指令的作用是将并联电路块串联连接，连接时，分支开始用 LD、LDI 指令，分支结束则用 ANB 指令。

块或（ORB）和块与（ANB）指令均无操作元件，同时 ORB、ANB 指令均可连续使用，但均将 LD、LDI 指令的使用次数限制在 8 次以下。

（2）使用示例

图 7-13 是由 ORB、ANB 指令组成的梯形图。该梯形图先由 X0、X1 指令组成并联电路块 A，然后将 X2、X3 组成串联电路块 B，X4、X5 组成串联电路块 C，再将两个串联电路块通过 ORB 指令进行块或操作形成并联电路块 1，之后再进行或操作形成并联电路块 2，在此基础上通过 ANB 指令进行块与操作，最终形成串联电路块 3。

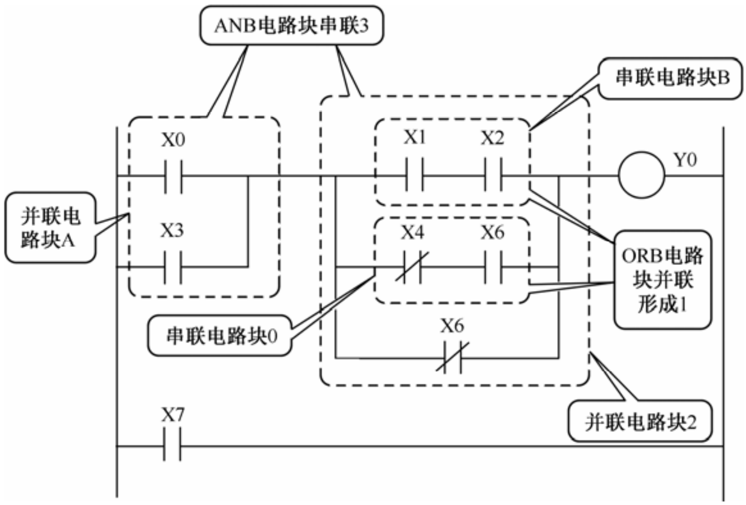


图 7-13　ORB、ANB 指令组成的梯形图

梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X0
OR      X3          // 组成并联电路块 A
LD      X1          // 分支起点
AND     X2          // 组成串联电路块 B
LDI     X4          // 分支起点
AND     X5          // 组成串联电路块 C
ORB                 // 将两个串联块进行块或操作，形成 1
ORI     X6          // 形成并联电路块 2
ANB                 // 块与操作，形成 3
OR      X7
OUT     Y0
```

6．多重输出指令

（1）指令作用

MPS、MRD、MPP 这组指令是将连接点结果存入堆栈存储器，以方便连接点后面电路的编程。FX2N 系列 PLC 中有 11 个存储运算中间结果的堆栈。

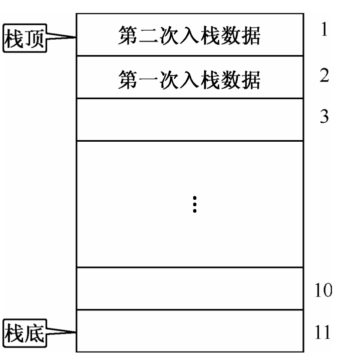


图 7-14　堆栈存储器的数据存储方式

堆栈采用先进后出的数据存储方式，见图 7-14。MPS 为进栈指令，其作用是将中间运算结果存入堆栈的第一个堆栈单元，同时使堆栈内各堆栈单元原有的存储数据顺序下移一个堆栈单元。

MRD 为读栈指令，其作用是仅读出栈顶数据，堆栈内的数据维持原状。MRD 指令可连续重复使用 24 次。

MPP 为出栈指令，其作用是弹出堆栈中第一个堆栈单元的数据，此时该数据在堆栈中消失，同时堆

栈内第二个堆栈单元至栈底的所有数据顺序上移一个单元，原第二个堆栈单元的数据进入栈顶。MPS 和 MPP 指令必须成对使用，连续使用次数则应少于 11 次。

（2）使用示例

图 7-15 所示为两层堆栈应用示例梯形图。首先用 MPS 将 X0 送进堆栈顶部的存储单元，然后再将 X0 和 X1 相与的结果用 MPS 送进堆栈顶部的存储单元，这样原先在堆栈顶部存储单元的数据 X0 将顺序进入堆栈顶部下一个存储单元中。

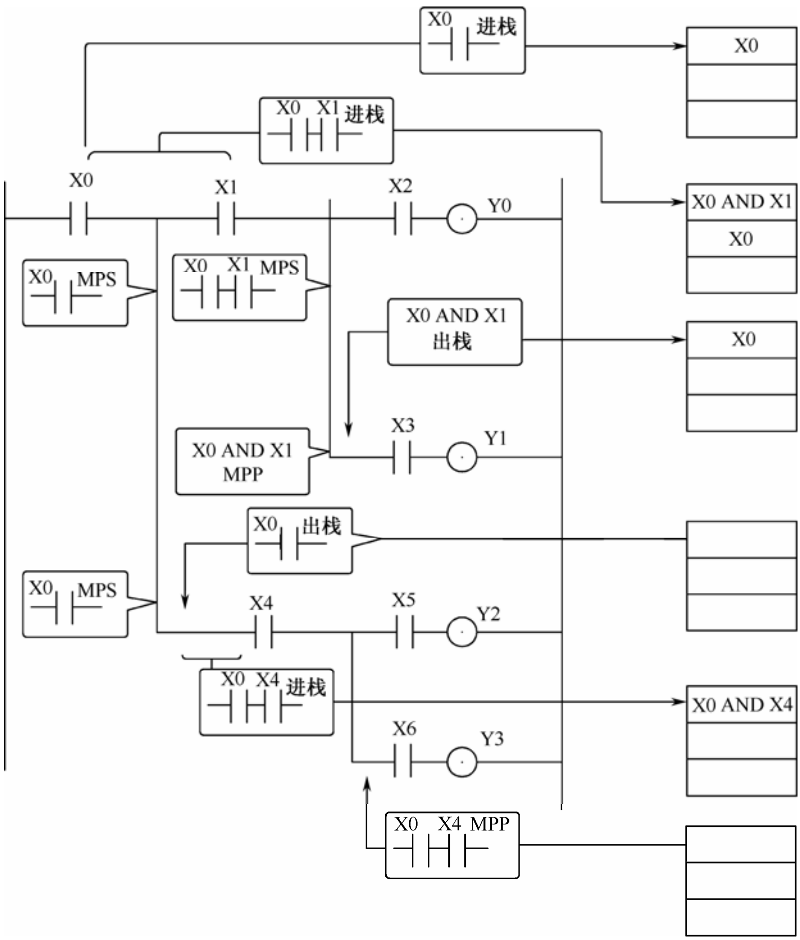


图 7-15　两层堆栈应用示例梯形图

出栈时，先将处于堆栈顶部的数据即 X0 和 X1 相与的结果取出，随着堆栈顶部数据的取出，数据 X0 顺序到达堆栈顶部的存储单元，然后在下一次的出栈操作中，数据 X0 被取出堆栈顶部。

两层堆栈应用示例梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X0
MPS                 // 将 X0 数据送进堆栈
AND     X1
MPS                 // 将 X0 AND X1 数据送进堆栈
AND     X2
OUT     Y0
```

```
MPP                      // 将 X0 AND X1 数据取出堆栈
AND         X3
OUT         Y1
MPP                      // 将 X0 数据取出堆栈
AND         X4
MPS                      // 将 X0 AND X4 数据送进堆栈
AND         X5
OUT         Y2
MPP                      // 将 X0 AND X4 数据取出堆栈
AND         X6
OUT         Y3
```

7．主控触头指令

（1）指令作用

MC 主控指令用于公共串联触头的连接。执行 MC 后，表示主控区开始，该指令操作元件为 Y、M（不包括特殊辅助继电器）。

MCR 主控复位指令用于公共触头串联的清除。执行 MCR 后，表示主控区结束，该指令的操作元件为主控指令的使用次数 N0～N7。

（2）使用示例

图 7-16 是由 MC、MCR 组成的梯形图。由于 Y0、Y1 线圈同时受一个触头 X0 控制，如果在每个线圈所在支路中均串联一个同样的触头，将占用较多存储单元。

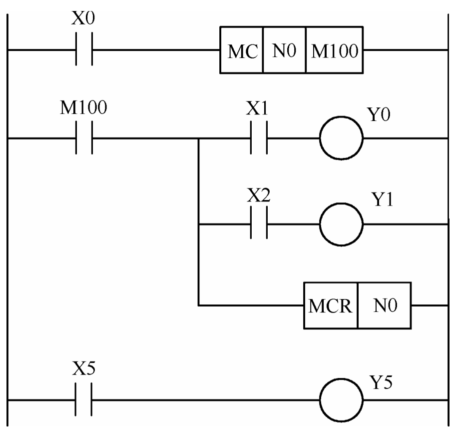


图 7-16　由 MC、MCR 组成的梯形图

使用主控指令 MC 后，可利用辅助继电器 M100，将主左母线移到常开触头 M100 后，形成新的左母线，该母线之后的各支路中仍采用 LD 或 LDI 连接，其连接关系与 M100 和主左母线之间的连接关系相同，但节省了单元。当 M100 控制的各支路结束后，再用 MCR 指令撤销新的左母线。

梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD          X0
MC          N0           // 主左母线移动到 M100 之后，建立新的左母线
M100
```

```
LD      X1
OUT     Y0
LD      X2
OUT     Y1
MCR     N0          // 撤销建立的新左母线
LD      X5
OUT     Y5
```

8．置位、复位指令

（1）指令作用

SET 置位指令的功能是驱动线圈并使线圈接通（即置 1），且具有维持接通状态的自锁功能。

RST 复位指令的功能是断开线圈并复位，且具有维持断开状态的自锁功能。此外，数据寄存器（D）、变址寄存器（V 或 Z）、积算定时器 T247～T255、计数器（C）的当前值清零及输出触头复位等均可使用 RST。

（2）使用示例

图 7-17 是由 SET 与 RST 指令组成的梯形图。当 X0 接通时，Y0 被置成 ON 状态，之后 X0 再断开，Y0 仍然保持 ON 状态；而当 X1 接通时，Y0 的状态复位为 OFF，之后 X1 断开，Y0 仍然保持 OFF 状态。

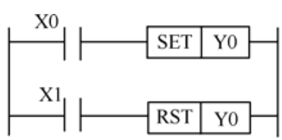


图 7-17　由 SET、RST 组成的梯形图

该梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X0
SET     Y0
LD      X1
RST     Y0
```

9．脉冲输出指令

（1）指令作用

前沿脉冲 PLS 指令在输入信号上升沿产生一个扫描周期的脉冲输出；后沿脉冲 PLF 指令则在输入信号下降沿产生一个扫描周期的脉冲输出。PLS 和 PLF 指令的驱动元件是 Y 与 M，但不包括特殊辅助继电器。

（2）使用示例

图 7-18 是由 PLS、PLF 组成的梯形图。在 X0 由 OFF 至 ON 的上升沿，辅助继电器 M0 接通，线圈 Y0 接通；而在 X1 由 ON 至 OFF 的下降沿，辅助继电器 M1 接通，线圈 Y0 置位为 OFF。

该梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X0
PLS     M0          // 在 X0 的上升沿置 M0 为 ON
```

```
LD      M0
SET     Y0        // 置 Y0 为 ON
LD      X1
PLF     M1        // 在 X1 的下降沿置 M1 为 ON
LD      M1
RST     Y0        // 将 Y0 复位为 OFF
```

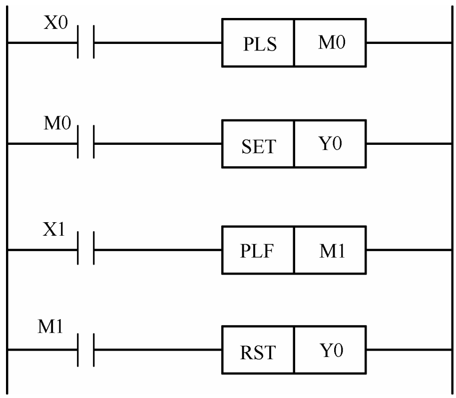


图 7-18　由 PLS、PLF 组成的梯形图

10．取反、空操作及结束指令

（1）指令作用

取反 INV 指令在梯形图中用一条 45° 短斜线表示，其作用是将之前的运算结果取反，该指令无操作元件；空操作 NOP 指令是一条无动作、无操作元件且占一个程序步的指令，程序中加入 NOP 指令主要是为了预留编程过程中追加指令的程序步；结束 END 指令用于标记用户程序存储区最后一个存储单元，使 END 指令后的 NOP 指令不再运行并返回程序头，提高 PLC 程序的执行效率。

（2）使用示例

图 7-19 是由 INV、END 指令组成的梯形图。其中 X0 和 X1 相与的结果由 INV 指令取反，X2 也取反，两者进行或块操作后再取反，最后输出至 Y0。

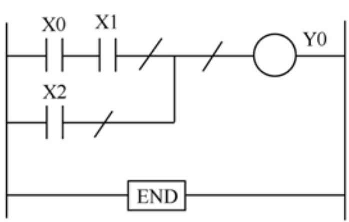


图 7-19　由 INV、END 指令组成的梯形图

该梯形图对应的语句指令程序为：

```
LD      X0
AND     X1
INV               // 对 X0 AND X1 的操作结果取反
LD      X2
INV               // 对 X2 取反
```

```
ORB                 // 或块操作
INV                 // 对或块操作结果取反
OUTO      Y0
```

7.3　PLC控制异步电动机Y-△启动

本项目训练的目的包括以下几方面：

① 掌握三相笼型大电机Y-△启动的 PLC 控制设计；

② 根据控制要求画出波形图并完成 I/O 分配与程序设计；

③ 确定各种低压电器的适用范围。

7.3.1　异步电动机的启动方式

笼型三相异步电动机的启动、停止控制电路是应用最广泛也是最基本的控制电路，主要有直接启动和降压启动两种方式。

1．直接启动控制电路

一些控制要求不高的简单机械，如小型台钻、砂轮机、冷却泵等常采用开关直接控制电动机启动和停止。它适用于不频繁启动的小容量电动机，不能远距离控制和自动控制。

2．降压启动控制电路

较大容量的笼型异步电动机一般都采用降压启动的方式启动，具体实现的方案有：定子串电阻或电抗器降压启动、Y-△变换降压启动、自耦变压器降压启动、延边三角形降压启动等。

三相电抗器（铁芯损耗很大）启动时，转子电流频率最大，频敏变阻器的阻抗也最大，转子电流受到抑制，因此定子电流不是很大。随着转速上升，转子电流频率发生变化，继而使定子电流发生变化。

（1）定子串电阻启动控制线路

定子串电阻启动控制线路的工作原理为：当电动机启动时，在电动机定子绕组上串联电阻，启动电流在电阻上产生电压降；启动结束后再将电阻短路，使电动机在额定电压下运行。定子串电阻启动方式的优点为该启动方式不受电动机接线方式的限制，设备简单，在中小型生产机械中使用广泛；缺点为所需设备费较高且体积大，电能损耗大。

（2）定子串接自耦变压器降压启动

自耦变压器的原理如图 7-20 所示。普通双绕组变压器，一、二次绕组之间没有电的联系，只有磁的耦合。自耦变压器是单绕组变压器，其初级线圈的一部分兼作次级线圈。

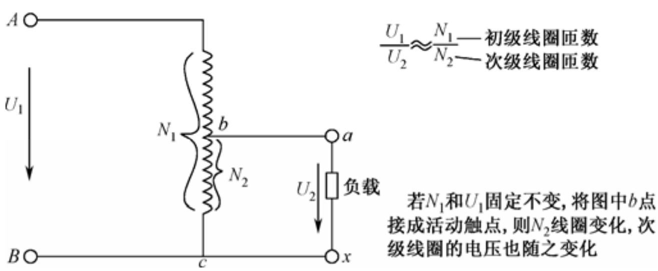


图 7-20　自耦变压器原理图

利用自耦变压器的原理，可以做成调压器、降压启动器。自耦变压器也可以做成三相的，常用在三相交流电动机的启动装置上，称为三相降压自耦变压器。

自耦变压器降压启动的控制线路，电动机启动电流的限制是靠自耦变压器的降压作用实现的。启动时，电动机定子绕组接在自耦变压器的低压侧，启动完毕后，将自耦变压器切除，电动机的定子绕组直接接在电源上，全压运行。该方法适用于容量较大、正常工作时接成星形的笼型异步电动机，其启动转矩通过抽头位置得到改变，缺点是自耦变压器的价格较贵，且不允许频繁启动。

7.3.2　大电动机的Y-△启动控制

1．控制要求

Y-△降压启动是笼型三相异步电动机降压启动方法之一。启动时，定子绕组接成星形，以降低启动电压限制启动电流；启动后，当转速上升接近额定值时，再把定子绕组改接为三角形，使电动机在全电压下运行。自耦变压器全压运行原理图如图 7-21 所示。

由于 PLC 内部切换时间很短，必须有防火花的内部锁定。T_A 为内部锁定时间，一般而言，$T_M<T_A$。

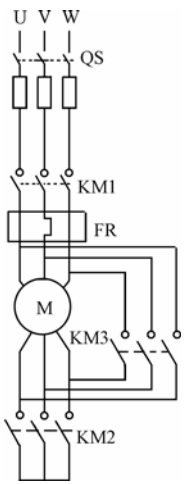


图 7-21　自耦变压器全压运行原理图

2．I/O通道分配

输入：SB1　00000　启动按钮
SB2　00001　停止按钮
FR　00002　热继电器的动断触点

输出：HL　01000　电动机运行指示灯
KM1　01001　定子绕组主接触器
KM2　01002　定子绕组Y接
KM3　01003　定子绕组△接

3．实际接线图

Y-△降压启动的切换时序图和实际接线图如图 7-22 和图 7-23 所示。

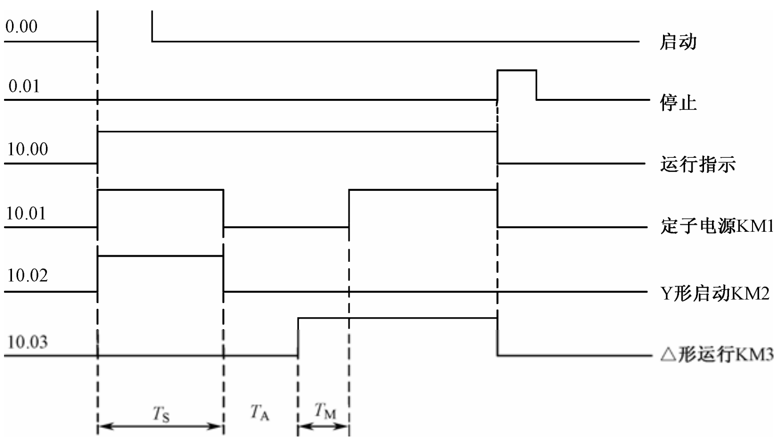


图 7-22　Y-△降压启动切换时序图

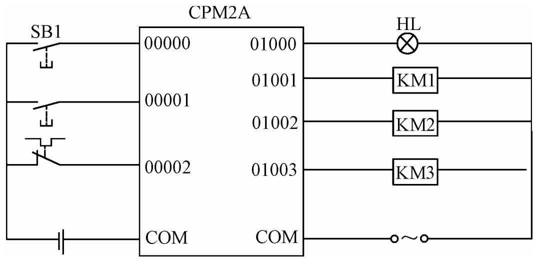


图 7-23　Y-△降压启动实际接线图

4．梯形图程序设计

Y-△降压启动 PLC 控制梯形图程序设计如图 7-24 所示。

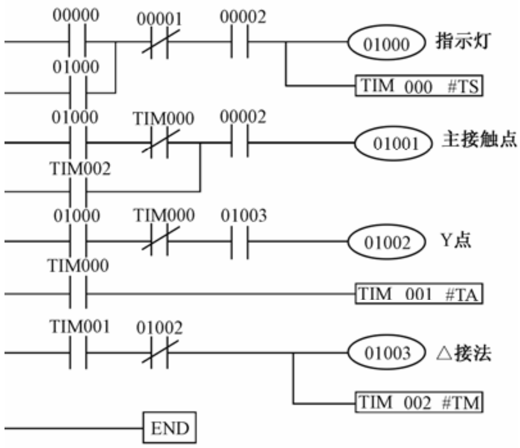


图 7-24　Y-△降压启动控制梯形图

7.4　PLC控制电动机循环正、反转

① 熟悉常用低压电器的结构、原理和使用方法；

② 了解电气控制电路的基本组成；

③ 理解三相异步电动机单方向启动、停止及点动的原理，熟悉控制电路的结构；

④ 掌握继电器控制线路的连接方法。

7.4.1　C650 车床控制元件配置

图 7-25 是 C650 车床的电气控制主电路，配置了 3 台电动机 M1、M2、M3。主电动机 M1 由停止按钮 SB、点动按钮 SB1、正转按钮 SB2、反转按钮 SB3、热继电器常开触头 FR1、速度继电器正转触头 KS1、速度继电器反转触头 KS2、正转接触器主触头 KM1、反转接触器主触头 KM2、制动接触器主触头 KM3 等控制。

冷却泵电动机 M2 由停止按钮 SB4、启动按钮 SB5、热继电器常开触头 FR1、接触器主触头 KM4 等控制；快移电动机 M3 由限位开关 SQ、接触器主触头 KM5 控制；电流表 A 由中间继电器触头 KA 控制。C650 车床 PLC 控制的元件配置见表 7-1，PLC 控制 I/O 接线见图 7-26。

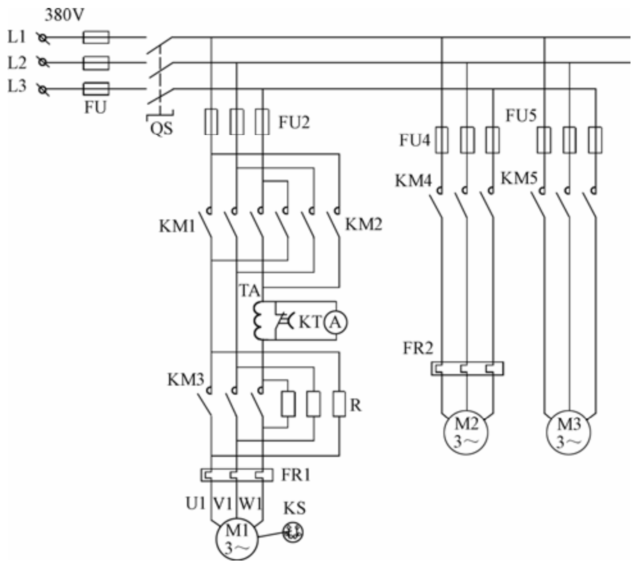


图 7-25　C650 车床的电气控制主电路

表 7-1　C650 车床 PLC 控制元件配置表

电气控制元件符号	功　　能	PLC 编程元件	电气控制元件符号	功　　能	PLC 编程元件
SB	M1 停止按钮	X0	KS1	速度继电器正转触头	X11
SB1	M1 点动按钮	X1	KS2	速度继电器反转触头	X12
SB2	M1 正转按钮	X2	KM1	M1 正转接触器主触头	Y0
SB3	M1 反转按钮	X3	KM2	M1 反转接触器主触头	Y1
SB4	M2 停止按钮	X4	KM3	M1 制动接触器主触头	Y2
SB5	M2 启动按钮	X5	KM4	M2 接触器主触头	Y3
SQ	M3 限位开关	X6	KM5	M3 接触器主触头	Y4
FR1	M1 热继电器常开触头	X7	KA	电流表中间继电器触头	Y5
FR2	M2 热继电器常开触头	X10			

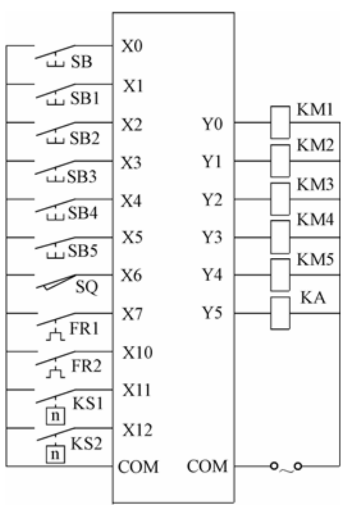


图 7-26　C650 车床 PLC 控制 I/O 接线图

图 7-27 是 C650 车床 PLC 控制梯形图，编程时使用了 MC 主控指令和 MCR 主控复位指令。车床上电后，由于停止按钮 SB、热继电器 FR 未动作，所以第 4 支路的 X0、X7 闭合，M110 通电，导致第 5 支路的 M110 闭合，程序执行 MC 主控指令至 MCR 主控复位指令之间的主控程序。

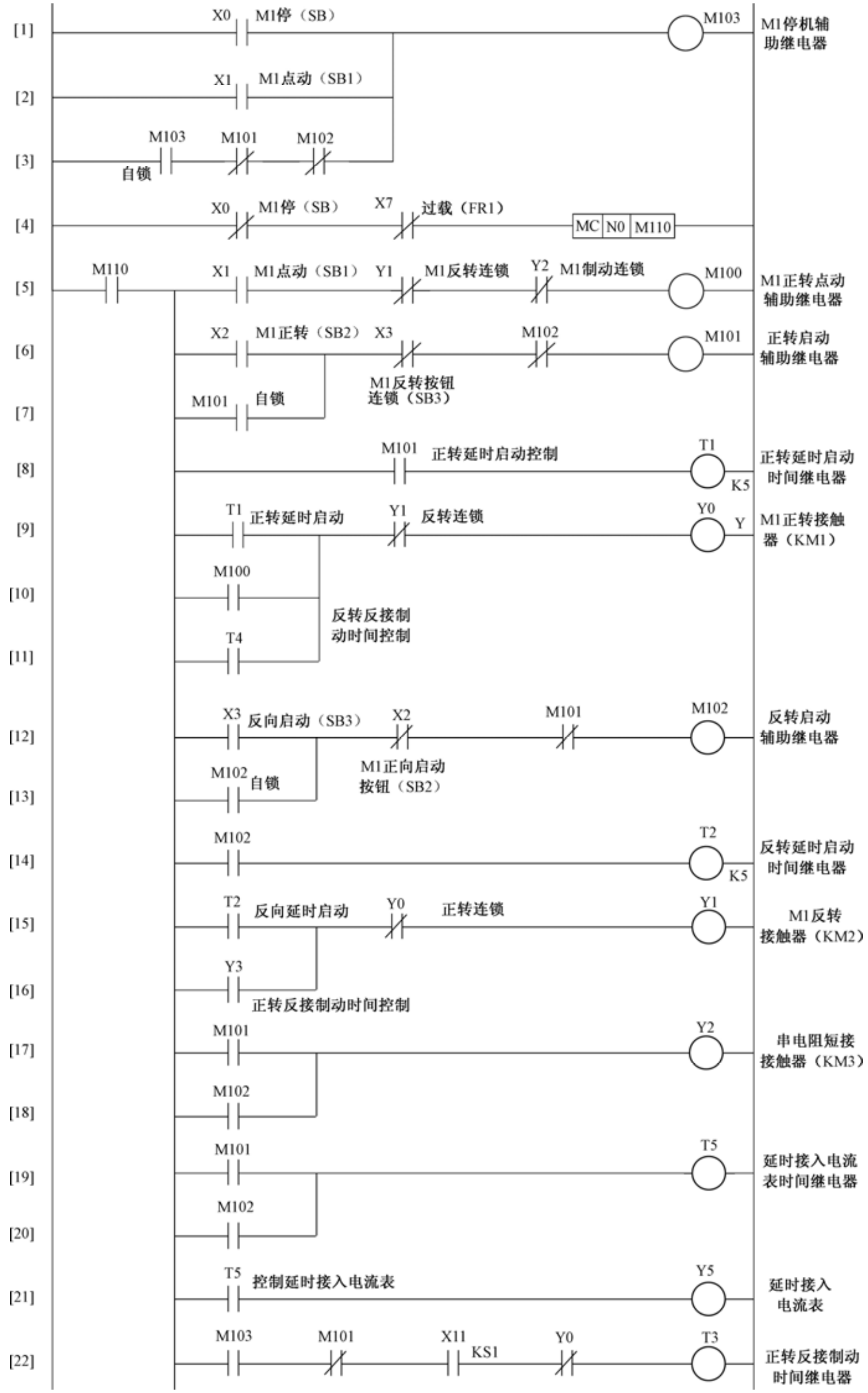


图 7-27　C650 车床 PLC 控制梯形图

7.4.2　主电动机正、反转控制

1．正转控制

按下主电动机正转按钮 SB2，第 6 支路 X2 闭合，由于 X3、M102 均未动作，所以 M101 通电并通过第 7 支路的 M101 自锁。引起以下 3 个结果：

① 第 8 支路的 M101 闭合，T1 开始 0.5s 计时；

② 第 12 支路的 M101 辅助常闭触头断开，使反转启动辅助继电器 M102 断电，实现正转与反转的互锁；

③ 第 17 支路的 M101 闭合，Y2 通电，主电路中的 KM3 吸合，使串联电阻 R 短接。

当第 8 支路 T1 延时 0.5s 到达后，导致第 9 支路 T1 闭合，因第 9 支路的 Y1 处于闭合状态，所以 Y0 通电；第 15 支路的 Y0 断开，主电路中的主触头 KM1 闭合。电动机 M1 正向启动运行。

2．T1 的延时作用

T1 延时 0.5s 确保了主电路中 KM3 先吸合，使串联电阻 R 短接，然后再接通 M1 正转控制主触头 KM1；否则，接触器 KM1、KM3 接通的指令几乎同时从 PLC 控制软件中发出，可能导致 KM1 先接通、KM3 后接通，串联电阻 R 不能先短接。

电动机 M1 启动后，转速上升，当转速升至 100r/min 时，速度继电器的正转触头 KS1 闭合，第 22 支路的 X11 闭合，为正转反接制动做好准备。

3．反转控制及T2 延时

按下 SB3，电动机 M1 将反向启动运行，通过 T2 延时 0.5s，确保主电路中的 KM3 先吸合，使串联电阻 R 短接，然后再接通 M1 反转主触头 KM2。

7.4.3　主电动机点动控制

按下正转点动按钮 SB1，第 2 支路和第 5 支路的 X1 均闭合，通过第 2 支路的 X1 使第 1 支路的 M103 通电，并通过第 3 支路的 M103 自锁。同时第 22 支路的 M103 也闭合，为 T3 通电做好准备。

车床一旦上电，第 5 支路的 M110 立即闭合，此时因本支路中的 X1 闭合，所以 M100 通电，使第 10 支路的 M100 闭合，第 9 支路的 Y0 通电，第 22 支路的常闭辅助触头 Y0 断开。

车床电气控制主电路中因第 9 支路 Y0 通电，接触器主触头 KM1 吸合，主电动机 M1 正转启动升速，转速大于 100r/min 后，速度继电器的正转触头 KS1 保持闭合。同时第 22 支路的 X11 闭合，为反接制动做好准备。

7.4.4　点动停止和反接制动

1．M1 断电降速

松开正转点动按钮 SB1，第 2 支路和第 5 支路的 X1 均断开，第 5 支路的 M100 断电，第 10 支路的 M100 随即断开，第 9 支路的 Y0 断电，第 22 支路的 Y0 触头闭合。导致主电路中的主触头 KM1 断开，主电动机 M1 断电降速运转。

2．M1 反接制动

由于降速初期速度继电器触头 KS1 处在闭合状态，所以第 22 支路中的 X11 闭合，加之

本支路的 Y0 触头闭合，所以 T3 通电，开始延时。

T3 延时到达后，第 16 支路的 T3 触头闭合，导致第 15 支路 Y1 通电，主电路中的主触头 KM2 吸合，主电动机 M1 反接制动。

3．反接制动结束

转速降到低于 100r/min 时，速度继电器的正转触头 KS1 断开，第 22 支路的 X11 断开，使 T3 断电，第 16 支路的 T3 触头断开，第 15 支路的 Y1 随之断电。

主电路中 KM3 主触头断开，反接制动结束，主电动机 M1 停转。

4．T3 的延时作用

T3 延时 0.5s 的作用是确保先断开 KM1，再接通 KM2；否则 KM2 先于 KM1 断开前接通，将导致主电动机 M1 绕组烧损。

7.4.5 主电动机反接制动

1．主电动机断电

按下停止按钮 SB，第 4 支路 X0 断开，M110 断电，使第 5 支路的常开触头 M110 断开，不再执行 MC 至 MCR 之间的主控电路程序，第 9 支路的 Y0 因之断电。

主电路中 KM1 断开，主电动机 M1 断电降速，但只要主电动机 M1 的转速大于 100r/min，速度继电器的正转触头 KS1 仍闭合，而第 1 支路的 M103 因自锁而通电。

按下停止按钮 SB 使第 9 支路的常闭辅助触头 X0 断开，Y0 断电，电气控制主电路中受 Y0 控制的主触头 KM1 断开。

2．进入反接制动状态

松开停止按钮 SB，使 SB 由按下状态切换成未按下状态，则第 4 支路的 X0 恢复闭合，M110 通电，第 5 支路的 M110 闭合，接通并执行 MC 至 MCR 之间的主控电路程序。

第 1 支路中的常闭辅助触头 X0 也恢复闭合，所以 M103 通电，此时第 22 支路的 M103 保持闭合。由于主电动机 M1 的转速大于 100r/min，KS1 处于闭合状态，第 22 支路的 X11 保持闭合，导致 T3 通电，计时开始。

当 T3 计时时间到达后，第 16 支路的 T3 闭合，使第 15 支路的 Y1 通电，主电路中的 KM2 闭合，电动机 M1 进入反接制动状态，主电动机 M1 迅速降速。

3．T3 的延时作用

T3 延时 0.5s 的作用体现在电气控制主电路中，KM1 主触头先断开，0.5s 后 KM2 主触头再闭合，杜绝了 KM1 与 KM2 瞬时的同时接通状态，有助于避免电动机绕组烧损。

4．M1 停转

当主电动机 M1 转速降至 100r/min 以下时，速度继电器的正转触头 KS1 断开，使 22 支路的 X11 断开，T3 失电，导致第 16 支路的 T3 断开，Y1 断电，主电路中的 KM2 断开，反接制动结束，主电动机 M1 停转。

5．反转停止进入反接制动

若启动时按下 SB3，主电路中的主触头 KM3、KM2 间隔 0.5s 先后接通，电动机 M1 将反向启动运行；之后松开停止按钮 SB，将进入反转停止反接制动过程。

6．主电路工作电流监视

主电动机正、反转启动过程中，因辅助继电器 M101、M102 中必有一个通电，所以第 19 支路的 T5 通电，10s 计时开始。计时到达后，第 21 支路的 T5 闭合，导致 Y5 通电，主电路中的常闭触头 KT 断开，交流电流表 A 进行工作电流监视，从而使 A 避开较大的启动工作电流。

7．冷却及快速电动机控制

冷却泵电动机 M2、快速移动电动机 M3 均为单向运转，控制较为简单。当按下冷却泵电动机启动按钮 SB5 时，第 25 支路的 X5 闭合，Y3 通电并自锁，冷却泵电动机 M2 启动；而按下停止按钮 SB4 时，第 25 支路的 X4 断开，Y3 断电，冷却泵电动机 M2 断电停转。

按下限位开关 SQ，第 27 支路的 X6 闭合，Y4 通电，快移电动机 M3 启动；松开限位开关 SQ，快移电动机 M3 断电停转。

7.4.6 实验设备及线路连接

1．实验设备

① YS6324 型 180W 三相异步电动机一台；
② CJ20-12 型交流接触器两支；
③ 红、绿、黑按钮各一支；
④ JR20-5 热继电器一支：
⑤ DZ47 型三相小容量熔断器一支；
⑥ RT23-16 型 2A 熔断器三支；
⑦ 导线若干。

2．实验线路

异步电动机的可逆运行控制电路通常有“正－停－反”和“正－反－停”两种形式，前者用在不需要快速切换的场合，后者则用在需要快速（直接）切换且系统机械转动惯量较小的场合。

（1）合理安放实验电器的位置

接线前应合理安放实验电器的位置，通常以便于操作为原则。各电器间距离应适当，以连线整体、便于检查为准；主令电器应放在便于操作的位置；导线的截面积和长度应合理选择。

（2）实验线路的连接

① 接线的一般规律：

先接主电路，后接控制电路；

先接串联回路，后接并联回路；

先接控制触点，后接保护触点；

最后接执行电器的励磁线圈。

这样能最大限度地保证线路的正确性和接线的速度。

② 接线时应注意：

第一，不接短路线；

第二，确保所有实验线路都是从电源开关（如低压断路器）出线端引出；

第三，连接线路时，电器触点的上端点和下端点不要弄错；

第四，注意控制按钮的颜色，通常停止按钮为红色，启动按钮为绿色或黑色。

接线完成并全面检查后，再请指导教师检查无误后，方可通电试运行。改变接线时，应先切断电源。

7.5　C650 卧式车床的电气及PLC控制系统

在金属切削机床中，车床所占的比例最大，而且应用也最广泛。C650 卧式车床能车削外圆、内圆、端面、螺纹和螺杆，能车削定型表面，并可用钻头、铰刀等刀具进行钻孔、镗孔、倒角、割槽及切断等加工工作。传统的 C650 车床采用继电接触器电路实现电气控制，其控制采用硬接线逻辑，利用电气元件触点的串联或并联组合成逻辑控制，接线多且复杂，体积大，功耗大，一旦系统构成后，想再改变或增加功能都较困难。另外，继电器触点数目有限，因此灵活性和扩展性较差。

PLC 是专为工业控制开发的装置，专为工业环境应用而设计，其显著的特点之一就是能够克服上述继电器控制的缺点。所以将 C650 卧式车床电气控制线路改造为 PLC 控制，可以提高整个电气控制系统的工作性能，从而减少维护、维修的工作量。

本项目训练的目的包括以下几方面：

① 掌握 C650 卧式车床电气控制的工作原理；

② 进一步熟悉电气控制电路的接线方法；

③ 学会 C650 卧式车床电气控制的故障分析及排除方法；

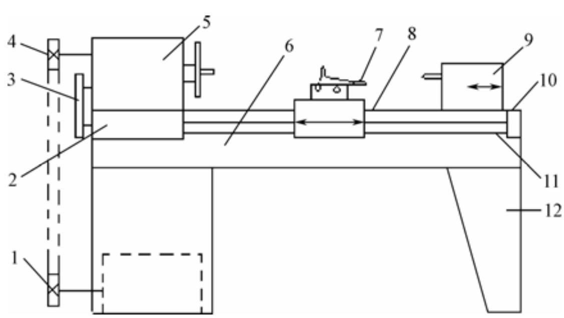
④ 掌握 C650 卧式车床的 PLC 控制方法；

⑤ 熟悉 C650 卧式车床 PLC 控制电路的接线方法；

⑥ 学会 C650 卧式车床 PLC 控制电路的软件、硬件故障分析及排除方法。

7.5.1　C650 卧式车床的主要结构与运动分析

C650 卧式车床主要由床身、主轴变速箱、尾座进给箱、丝杠、光杆、刀架和溜板箱等组成。图 7-28 所示为 C650 卧式车床结构示意图。



1、4—带轮；2—进给箱；3—挂轮架；5—主轴箱；6—床身；
7—刀架；8—溜板；9—尾架；10—丝杠；11—光杆；12—床腿

图 7-28　C650 卧式车床结构示意图

C650 卧式车床的主运动主要是指卡盘或顶尖带动工件的旋转运动，进给运动是指溜板带动刀架的纵向或横向直线运动，而辅助运动是指刀架的快速进给与快速退回，车床的调速采用变速箱调速方式。

C650 卧式车床的电力拖动运动形式包括主轴的旋转运动、刀架的进给运动、刀架的快速移动等。

1．主轴的旋转运动

C650 卧式车床的主运动是工件的旋转运动，由主电动机拖动，其功率为 30kW。主电机由接触器控制实现正反转，为提高工作效率，主电动机采用反接制动。

2．刀架的进给运动

溜板带着刀架的直线运动称为进给运动。刀架的进给运动由主轴电动机带动，并使用走刀箱调节加工时的纵向和横向走刀量。

3．刀架的快速移动

为了提高工作效率，车床刀架的快速移动由一台单独的快速移动电动机拖动，其功率为 2.2kW，并采用点动控制。

4．冷却系统

车床内装有一台不调速、单向旋转的三相异步电动机拖动冷却泵，供给刀具切削时使用的冷却液。

7.5.2　C650 卧式车床的电气控制线路分析

C650 卧式车床的电气控制原理图如图 7-29 所示。

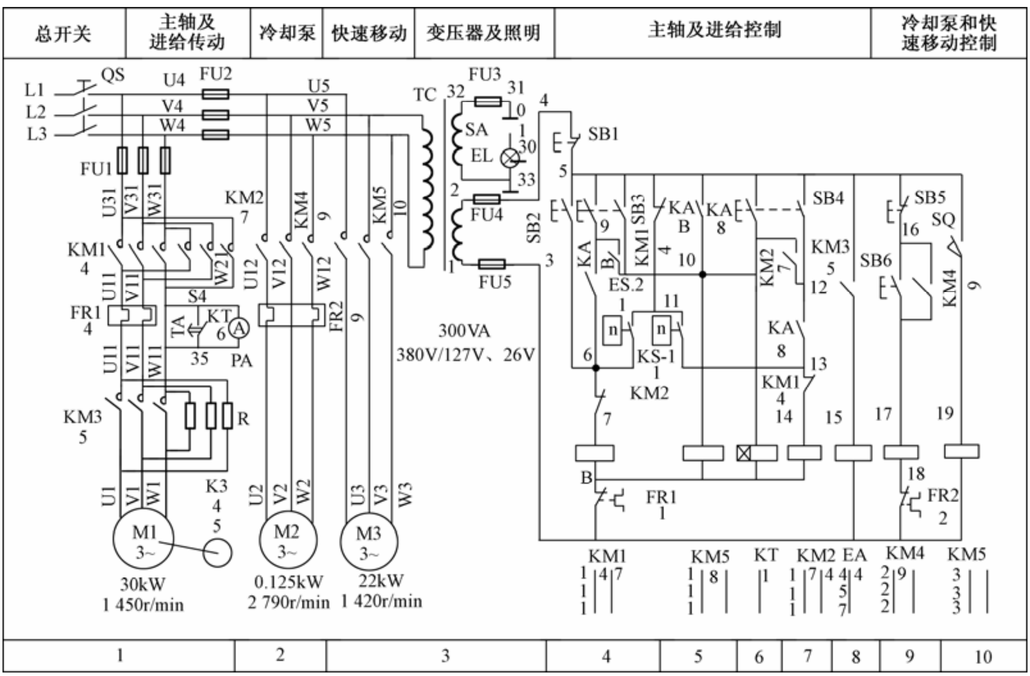


图 7-29　C650 卧式车床的电气控制原理图

1．C650 卧式车床的电气控制主电路

① 主电动机 M1。M1 通过 KM1、KM2 两个接触器实现正反转，FR1 作过载保护，R 为限流电阻，电流表 PA 用来监视主电动机的绕组电流，由于主电动机功率很大，故 PA 接

入电流互感器 TA 回路。当主电动机启动时，电流表 PA 被短接，只有当正常工作时，电流表 PA 才指示绕组电流。KM3 用于短接电阻 R。

② 冷却泵电机 M2。KM4 接触器控制冷却泵电动机 M2 的启停，FR2 为 M2 的过载保护用热继电器。

③ 快速电机 M3。KM5 接触器控制快速移动电动机 M3 的启停，由于 M3 为点动短时运转，故不设置热继电器。

2．C650 卧式车床的控制电路

（1）主轴电动机的点动控制

如图 7-30 所示，按下点动按钮 SB2（不松手）→接触器 KM1 线圈通电→KM1 主触点闭合→主轴电动机将限流电阻 R 串入电路中，进行降压启动和低速运转。

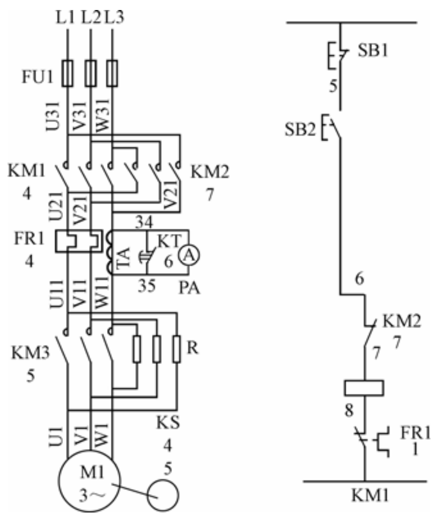


图 7-30　主电动机点动控制电路

（2）主轴电动机的正、反转控制

如图 7-31 所示，按下正向启动按钮 SB3→KM3 线圈通电→KM3 主触点闭合→短接限流电阻 R，同时另有一个常开辅助触点 KM3（5-15）闭合→KA 线圈通电→KA 常开触点（5-10）闭合→KM3 线圈自锁保持通电→把电阻 R 切除，同时 KA 线圈也保持通电。

另一方面，当 SB3 尚未松开时，由于 KA 的另一常开触点（9-6）已闭合→KM1 线圈通电→KM1 主触点闭合→KM1 辅助常开触点（9-10）也闭合（自锁）→主电动机 M1 全压正向启动运行。

SB4 为反向启动按钮，反向启动过程与正向类似。

3．主电动机的反接制动控制

C650 卧式车床采用反接方式制动，用速度继电器 KS 进行检测和控制。假设原来主电动机 M1 正转运行，如图 7-31 所示，则 KS-1（11-13）闭合，而反向常开触点 KS-2（7-11）依然断开。当按下反向总停按钮 SB1（4-5）后，原来通电的 KM1、KM3、KT 和 KA 随即断电，它们的所有触点均被释放而复位。然而，当 SB1 松开后，反转接触器 KM2 立即通电，电流通路为：线号 4→SB1 常闭触点（4-5）→KA 常闭触点（5-11）→KS 正向常开触点 KS-1（11-13）→KM1 常闭触点（13-14）→KM2 线圈（14-8）→FR1 常闭触点（8-3）→

线号 3。这样主电动机 M1 就串接电阻 R 进行反接制动，正向速度很快降下来，当速度很低（n≤120r/min）时，KS 的正向常开触点 KS-1（11-13）断开复位，切断上述电流通路，正向反接制动结束。

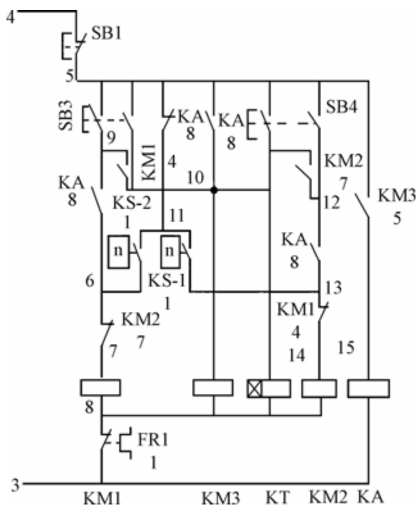


图 7-31　主电动机正、反转及反接制动控制电路

4．刀架快速移动控制

转动刀架手柄，限位开关 SQ（5-19）被压动而闭合，使得快速移动接触器 KM5 线圈得电，快速移动电动机 M3 启动运转，当刀架手柄复位时，M3 随即停转。

5．冷却泵控制

按下 SB6（17-17）按钮→KM4 接触器线圈得电并自锁→KM4 主触点闭合→冷却泵电动机 M2 启动运转；按下 SB5（5-16）按钮→KM4 接触器线圈失电→M2 停转。

7.5.3　C650 卧式车床的PLC控制系统

PLC 用于 C650 卧式车床的控制系统，既具有微机控制的一系列优点，又能克服继电接触器控制的不足之处，稳定性好，可靠性高。采用高集成度器件制造的 PLC，它与外部电路均经过光电隔离，具有很强的抗干扰能力。

PLC 采用存储器逻辑，其控制逻辑以程序方式存储在内存中，要改变控制逻辑，只需改变程序即可，因此具有很强的灵活性和扩展性。PLC 所采用的梯形图编程方法简单，极易为工厂技术人员和工人所掌握。PLC 具有自诊断程序，每次使用都能自行检查，发现故障立即停机。PLC 与外部接线以插座相连，需要修理时拆卸非常方便，比换一个继电器要快许多。

1．PLC的选择

三菱公司 FX2N 系列 PLC 吸收了整体式和模块式 PLC 的优点，其基本单元、扩展单元和扩展模块的高度与宽度相等，相互之间的连接无须使用基板，仅通过扁平电缆连接，紧密拼装后组成一个长方形的整体。FX2N 系列 PLC 具有强大的功能和很高的运行速度，可用于要求较高的机电一体化控制系统，而其具有的各种扩展单元和扩展模块，可以根据现场系统功能的需要组成不同的控制系统。鉴于以上原因，此系统选用三菱公司 FX2N 系列 PLC。

2．确定C650 卧式车床PLC的控制点数及功能分配

根据工作流程及设计要求，本控制系统的基本单元主要用于完成各部分机构的控制和各种检测功能，包括主电动机的正/反转控制、主电动机的点动调整控制、主电动机的反接制动控制、刀架的快速移动及冷却泵控制等。

输入点数：$N_i=E_i(P_i-1)$，E_i 为按钮数，P_i 为状态数（输入器件）。

输出点数：$N_0=E_0(P_0-1)$，E_0 为按钮数，P_0 为状态数（输出器件）。

开关总数：$N=N_i+N_0$

每项加 20%的余量，则本系统的 PLC 控制共需 10 个输入点和 5 个输出点，选用的 PLC 输入点数要大于 10，输出点数要大于 5。考虑到本机的控制规模、特点和用户在使用过程中增加新的功能、进行扩展等要求，本机选择适用于小系统的三菱小型可编程控制器 FX2N-32MR 作为 PLC 控制系统的基本单元。

I/O 点数的具体功能和分配如表 7-2 所示。

表 7-2　I/O 点数的具体功能和分配

输 入 功 能	X 元件号	输 出 功 能	Y 元件号
主电动机反向点动 SB0	X0	主电动机正传 KM1	Y1
总停 SB1	X1		
主电动机正向点动 SB2	X2	主电动机反转 KM2	Y2
主电动机正转 SB3	X3		
主电动机反转 SB4	X4	主电动机短接限流电阻 KM3	Y3
冷却泵电动机停转 SB5	X5		
冷却泵电动机启动 SB6	X6	冷却泵电动机运行 KM4	Y4
主电动机正向反接制动 KS-1	X7		
主电动机反向反接制动 KS-2	X10	快速移动电动机点动 KM5	Y5
快速移动电动机点动 SQ	X11		

3．程序编制

根据 C650 卧式车床的控制要求，保证原电路的工作逻辑关系，而且具有各种闭锁措施，以及电气改造的投资少，工作量小。基于这种思想，该车床电气控制线路中的电源电路、主电路及照明电路保持不变。具体调整过程如下。

（1）主电动机的点动调整控制

当按下点动按钮 SB2（不松手）时→X2 通电→Y1 通电→KM1 通电→主电动机正转，当松开点动按钮 SB2 时→X2 断电→Y1 断电→KM1 断电→主电动机停转；同理，当按下点动按钮 SB0（不松手）时→主电动机反向点动。

（2）主电动机正、反向控制

当按下 SB3 按钮时→X3 得电→线圈 M0 得电并自锁→Y1 得电→KM1 得电→主电动机正转，此时速度继电器的触点 KS-1 是闭合的→X7 通电；当按下 SB1 总停按钮时→所有电器均断电，SB1 总停按钮放开后→X7 通电→Y2 通电→KM2 通电→主电动机串电阻正向反接制动。同理，当按下 SB4 按钮时→主电动机反转；当按下 SB1 总停按钮时→主电动机串电阻反向反接制动。

（3）刀架的快速移动和冷却泵的控制

转动刀架手柄，限位开关 SQ 被压动而闭合→X11 得电→Y5 通电→KM5 通电→快速移

动电动机 M3 启动运转，当刀架手柄复位时，M3 随即停转。

冷却泵电动机 M2 的启、停分别由 SB6 和 SB5 控制。该电气控制系统的 I/O 分配图如图 7-32 所示，PLC 控制梯形图如图 7-33 所示，该程序反映了原继电接触器控制电路中的逻辑要求。

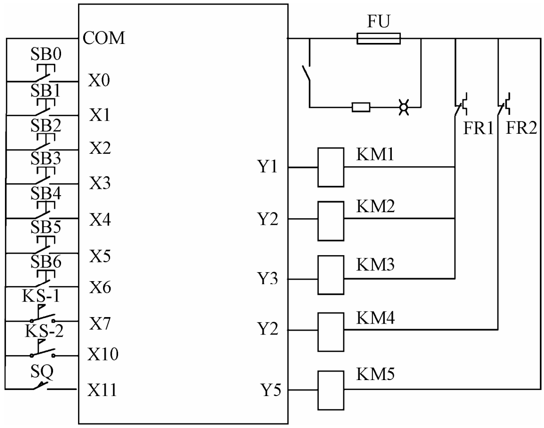


图 7-32　电气控制系统的 I/O 分配图

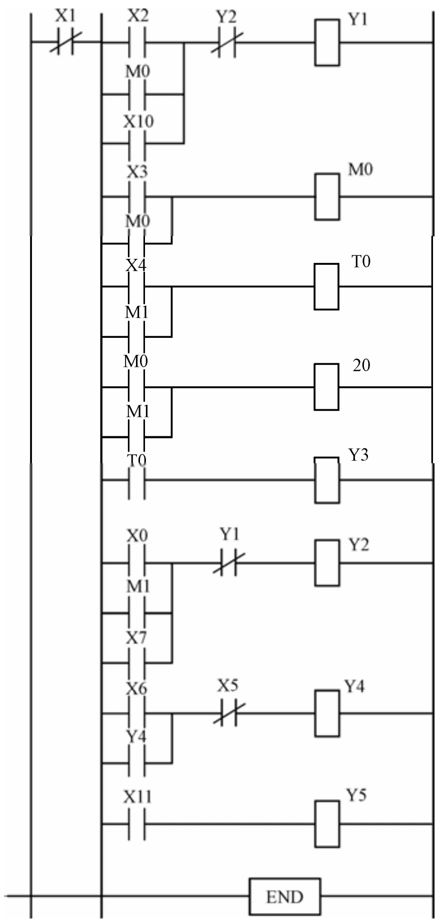


图 7-33　PLC 控制梯形图

7.6　Z3040 摇臂钻床的电气及PLC控制系统

钻床是孔加工机床，用来进行钻孔、扩孔、铰孔、攻丝及修刮端面等多种形式的加工。在各类钻床中，摇臂钻床操作方便、灵活，适用范围广，具有典型性，特别适用于单件或批量生产中带有多孔大型零件的孔加工，是一般机械加工车间常见的机床。

摇臂钻床主要由底座、内立柱、外立柱、摇臂、主轴箱及工作台等部分组成，如图 7-34 所示。

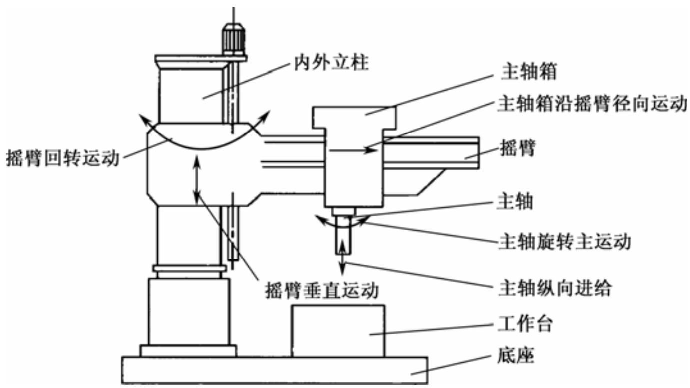


图 7-34　Z3040 摇臂钻床

内立柱固定在底座的一端，外面套有外立柱，外立柱可绕内立柱回转 360°。摇臂的一端为套筒，套装在外立柱上，并借助丝杠的正反转沿外立柱做上下移动。由于丝杠与外立柱连成一体，而升降螺母固定在摇臂上，所以摇臂不能绕外立柱转动，只能与外立柱一起绕内立柱回转。主轴箱安装在摇臂的水平导轨上，可以通过手轮操作使其在水平导轨上沿摇臂移动。当进行加工时，由特殊的夹紧装置将主轴箱紧固在摇臂导轨上，外立柱紧固在内立柱上，摇臂紧固在外立柱上，然后进行钻削加工。钻削加工时，钻头一面旋转进行切削，一面进行纵向进给。综上所述，摇臂钻床的运动方式有：

① 主运动，主轴的旋转运动；

② 进给运动，主轴的纵向进给；

③ 辅助运动，摇臂沿外立柱垂直移动，主轴箱沿摇臂长度方向移动，摇臂与外立柱一起绕内立柱回转运动。

7.6.1　Z3040 摇臂钻床的电气控制系统

1．摇臂钻床的电力拖动特点及控制要求

① 摇臂钻床运动部件较多，为简化传动装置，采用多电动机拖动，设有主轴电动机、摇臂升降电动机、立柱夹紧放松电动机及冷却泵电动机。

② 摇臂钻床为适应多种形式的加工，要求主轴及进给有较大的调速范围。

③ 摇臂钻床的主运动与进给运动由一台电动机拖动，分别经主轴与进给传动机构实现主轴旋转和进给。

④ 主轴要求可正、反转。

⑤ 对内/外立柱、主轴箱及摇臂的夹紧/放松和其他一些环节，采用先进的液压技术。

⑥ 具有必要的连锁与保护。

2．液压系统简介

该摇臂钻床具有两套液压控制系统：一个是操纵机构液压系统，一个是夹紧机构液压系统。前者安装在主轴箱内，用以实现主轴正/反转、停车制动、空挡、预选及变速；后者安装在摇臂背后的电器盒内部，用以夹紧与松开主轴箱、摇臂及立柱。

（1）操纵机构液压系统

该系统压力油由主轴电动机拖动齿轮泵供给。主轴电动机转动后，由操作手柄控制，使压力油作不同的分配，获得不同的动作。操作手柄有 5 个位置，即空挡、变速、正转、反转和停车。

① 停车。主轴停转时，将操作手柄扳向停车位置，此时主轴电动机拖动齿轮泵旋转，使制动摩擦离合器作用，主轴不能转动，实现停车。所以，主轴停车时主轴电动机仍在旋转，只是动力不能传到主轴。

② 空挡。将操作手柄扳向空挡位置，此时压力油使主轴传动系统中的滑移齿轮脱开，用手可轻便地转动主轴。

③ 变速。主轴变速与进给变速时，将操作手柄板向变速位置，改变两个变速旋钮进行变速，主轴转速和进给量大小由变速装置实现。变速完成后，松开操作手柄，此时操作手柄在机械装置的作用下自动由变速位置回到主轴停车位置。

④ 正转、反转。将操作手柄扳向正转位置或反转位置，主轴在机械装置的作用下，实现主轴的正转或反转。

（2）夹紧机构液压系统

夹紧机构液压系统的压力油由液压泵电动机拖动液压泵供给，实现主轴箱、立柱和摇臂的松开与夹紧。其中主轴箱和立柱的松开与夹紧由一个油路控制，摇臂的松开与夹紧由另一个油路控制，这两个油路均由电磁阀操纵。主轴箱和立柱的夹紧与松开由液压泵电动机点动控制就可实现，摇臂的夹紧和松开与摇臂的升降控制有关。

3．电气控制主电路分析

如图 7-35 所示为 Z3040 摇臂钻床的电气控制电路图。图中 M1 为主轴电动机，M2 为摇臂升降电动机，M3 为液压泵电动机，M4 为冷却泵电动机。

M1 为单方向旋转，由接触器 KM1 控制，主铀的正、反转则由机床液压系统操纵机构配合正反转摩擦离合器实现，并由热继电器 FR 作电动机的长期过载保护。

M2 由正转、反转接触器 KM2、KM3 控制实现正、反转。控制电路可保证，在操纵摇臂升降时，首先使液压泵电动机启动旋转，供出压力油，经液压系统将摇臂松开，然后才使电动机 M2 启动，拖动摇臂上升或下降。当移动到位后，确保 M2 先停下，再自动通过液压系统将摇臂夹紧，最后液压泵电动机才停下。M2 为短时工作，不设长期过载保护。

M3 由接触器 KM4、KM5 实现正、反转控制，并由热继电器 FR 作长期过载保护。

M4 电机容量较小，由开关 SA2 控制。

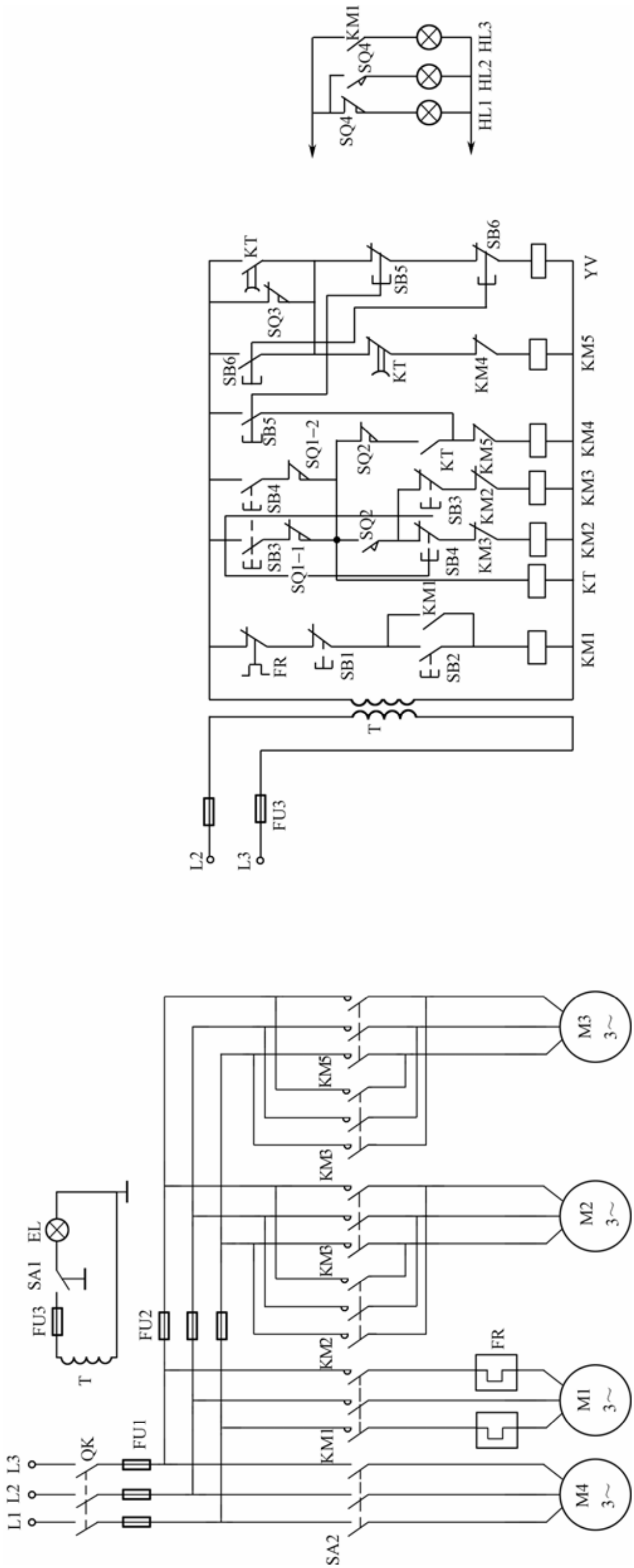


图 7-35　Z3040 摇臂钻床的电气控制电路图

7.6.2　Z3040 摇臂钻床的PLC控制系统

1．分析控制对象、确定控制要求

仔细阅读、分析 Z3040 摇臂钻床的电气原理图，确定各电动机的控制要求。

① 对电动机 M1 的要求：单方向旋转，有过载保护。

② 对电动机 M2 的要求：全压正、反转控制，点动控制；启动时，先启动电动机 M3，再启动电动机 M2；停机时，电动机 M2 先停止，然后电动机 M3 才能停止。电动机 M2 设有必要的互锁保护。

③ 对电动机 M3 的要求；全压正、反转控制，设长期过载保护。

④ 电动机 M4 容量较小，由开关 SA2 控制，单方向运转。

2．确定I/O点数

根据电路图找出 PLC 控制系统的输入、输出信号，共有 13 个输入信号、9 个输出信号。照明灯不通过 PLC 而由外电路直接控制，可以节约 PLC 的 I/O 端子数。考虑将来的发展需要，留有一定余量，选用 FX2N-32MR 可编程控制器。将输入、输出信号进行地址分配，见表 7-3。

表 7-3　I/O 端子输入、输出信号地址分配表

输 入 信 号	输入端子号	输 出 信 号	输出端子号
摇臂下降限位行程开关 SQ	X0	电磁阀 YV	Y0
电动机 M1 启动按钮 SB1	X1	接触器 KM1	Y1
电动机 M1 停止按钮 SB2	X2	接触器 KM2	Y2
摇臂上升按钮 SB3	X3	接触器 KM3	Y3
摇臂下降按钮 SB4	X4	接触器 KM4	Y4
主轴箱松开按钮 SB5	X5	接触器 KM5	Y5
主轴箱夹紧按钮 SB6	X6	指示灯 HL1	Y10
摇臂上升限位行程开关 SQ1	X7	指示灯 HL2	Y11
摇臂松开行程开关 SQ2	X10	指示灯 HL3	Y12
摇臂自动夹紧行程开关 SQ3	X11		
主轴箱与立柱箱夹紧/松开行程开关 SQ4	X12		
电动机 M1 过载保护 FR1	X13		
电动机 M2 过载保护 FR2	X14		

3．绘制I/O端子接线图

根据 I/O 端子分配结果，绘制端子接线图如图 7-36 所示。在端子接线图中，热继电器和保护信号仍采用常闭触点作输入，主令电器的常闭触点可改用常开触点作输入，使编程简单。接触器和电磁阀线圈用 220V 交流电源供电，信号灯采用 6.3V 交流电源供电。

4．梯形图设计

对 Z3040 摇臂钻床梯形图的设计，可参照电气控制原理图进行。首先，将整个控制电路分成若干个控制环节，分别设计出梯形图；然后，根据控制要求综合各梯形图；最后，进行整理和修改，设计出符合控制要求的完整的梯形图。

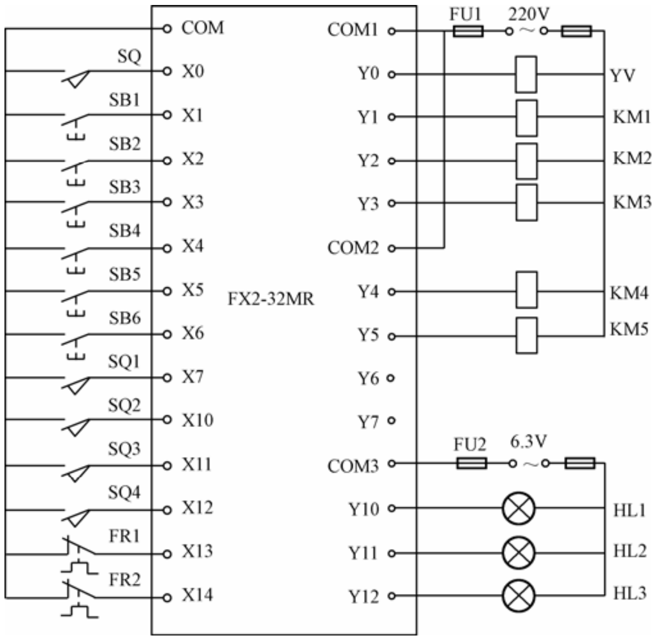


图 7-36　摇臂钻床 PLC 控制系统 I/O 端子接线图

1）控制主轴电动机 M1 的梯形图

在电气控制原理图中，电动机 M1 的控制比较简单，梯形图如图 7-37 所示。

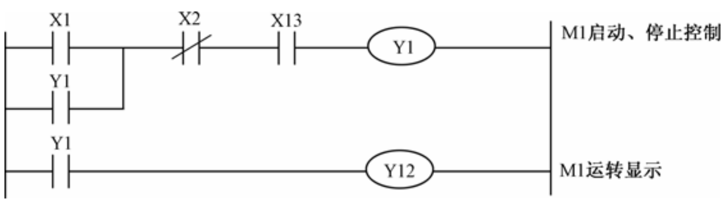


图 7-37　电动机 M1 的控制梯形图

2）控制电动机 M2 与 M3 的梯形图

（1）摇臂的升降过程

摇臂的升降、夹紧控制与液压系统紧密配合，梯形图如图 7-38 所示。由上升按钮 SB3 和下降按钮 SB4 与正、反转接触器 KM2、KM3 组成电动机 M2 的正反转点动控制。摇臂升降为点动控制，且摇臂升降前必须先启动液压泵电动机 M3，将摇臂松开，然后方能启动摇臂升降电动机 M2。按下摇臂上升按钮 SB3，PLC 内部继电器 M0 线圈通电，电气原理图中的时间继电器 KT 在梯形图中由定时器 T0 代替，时间继电器的瞬时动作触点 KT（13-14）由辅助继电器 M0 代替，使得输出继电器 Y4 和 Y0 动作，则 KM4 和电磁阀 YV 线圈同时通电，电动机 M3 正转，将摇臂松开。松开到位压下摇臂松开行程开关 SQ2（X10 动作），使输出继电器 Y4 断电、Y2 动作，KM4 断电，同时 KM2 通电，摇臂维持松开进行上升。上升到位松开按钮 SB3，M0 线圈断电，摇臂停止上升，同时定时器 T0 线圈通电，延时 1～3s 触点动作，输出继电器 Y5 动作，使 KM5 线圈通电，电动机 M3 反转，摇臂夹紧。夹紧时压下行程开关 SQ3（X11 动作），输出继电器 Y5 和 Y0 复位，KM5 和电磁阀线圈断电，电动机 M3 停转。

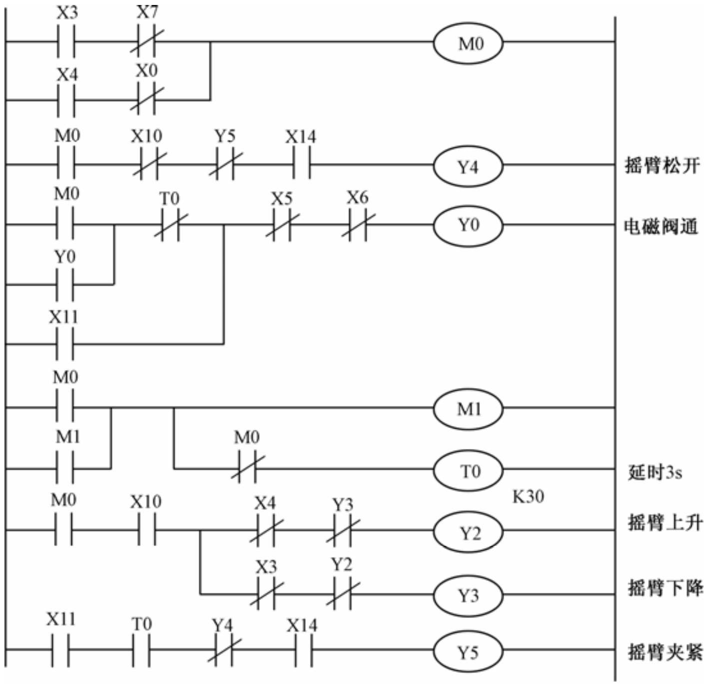


图 7-38　摇臂升、降控制梯形图

（2）主轴箱和立柱箱的松开与夹紧控制

主轴箱和立柱箱的松开与夹紧控制是同时进行的，梯形图如图 7-39 所示，在电气控制线路中由按钮 SB5 和 SB6 控制。按下按钮 SB5（X5 触点动作），输出继电器 Y4 动作，使 KM4 线圈通电，电磁阀线圈 YV 断电，电动机 M3 正转，松开主轴箱和立柱箱。松开的同时压下行程开关 SQ4（X12 动作），输出继电器 Y10 线圈通电，指示灯 HL1 亮，表明已经松开。反之，当按下按钮 SB6（X6 触点动作），使 Y5 通电、Y0 断电，KM5 线圈得电、电磁阀线圈 YV 仍断电，电动机 M3 反转，将主轴箱和立柱箱夹紧，同时行程开关 SQ4 复位，输出继电器 Y11 动作，夹紧指示灯 HL2 亮，表明夹紧动作完成。

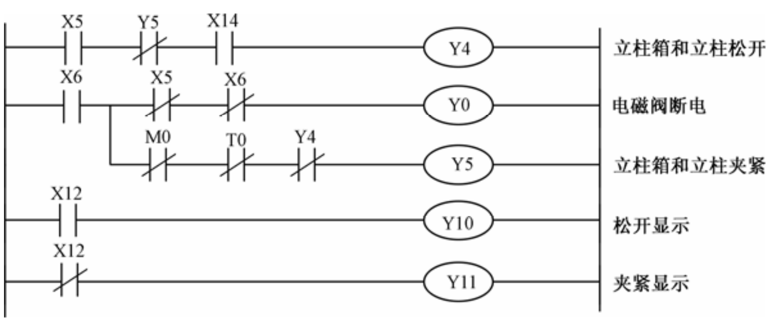


图 7-39　主轴箱和立柱箱夹紧与松开控制梯形图

在上述梯形图的基础上，将各部分梯形图综合在一起，进行整理和修改，把其中的重复项去掉，最后设计出完整的梯形图。Z3040 摇臂钻床的完整梯形图如图 7-40 所示。

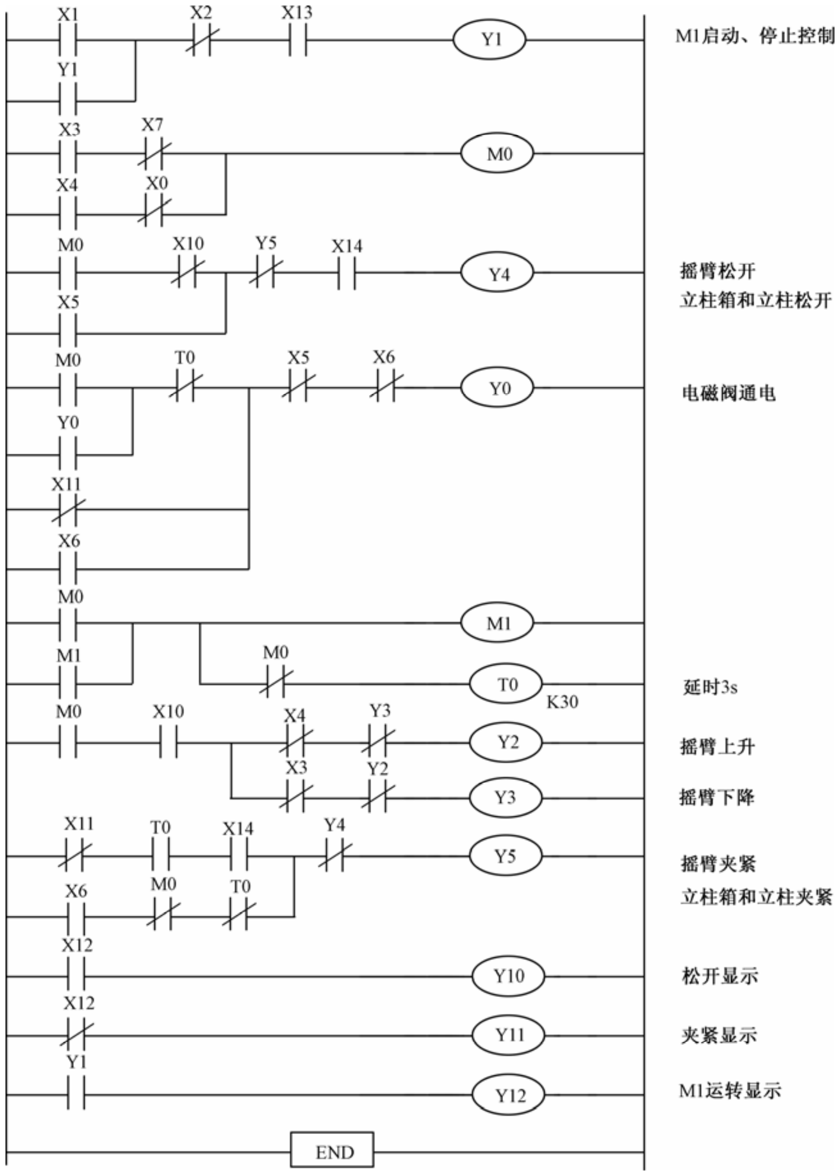


图 7-40　Z3040 摇臂钻床控制梯形图

7.6.3　Z3040 摇臂钻床电气线路的故障与维修

摇臂钻床的工作过程是由电气与机械、液压系统紧密结合实现的。因此，在维修中不仅要注意电气部分能否正常工作，还要注意它与机械和液压部分的协调关系。下面仅分析摇臂钻床的电气故障，如表 7-4 所示。（注：故障不能一一列举，仅举一部分作说明）

表 7-4　摇臂钻床电气线路的故障与维修

故 障 现 象	故 障 原 因	故 障 检 修
操作时一点反应也没有	（1）电源没有接通 （2）FU3 烧断或 L11、L21 导线有断路或脱落	（1）检查插头、电源引线、电源闸刀 （2）检查 FU3、L11、L21 线

续表

故 障 现 象	故 障 原 因	故 障 检 修
按 SB3，KM 不能吸合，但操作 SA6，KM6 能吸合	37-37-38-KM 线圈-L11 中有断路或接触不良现象	用万用表电阻挡对相关线路进行测量
控制电路不能工作	（1）FU5 烧断 （2）FR 因主轴电动机过载而断开 （3）5 号线或 6 号线断开 （4）TC1 变压器线圈断路 （5）TC1 初级进线 U21、V21 中有断路 （6）KM 接触器中 L1 相或 L2 相主触点烧坏 （7）FU1 中 U11、V11 相熔断	（1）检查 FU5 （2）对 FR 进行手动复位 （3）检查 5、6 号线 （4）检查 TC1 （5）检查 U21、V21 线 （6）检查 KM 主触点并修复或更换 （7）检查 FU1
主轴电动机不能启动	（1）十字开关接触不良 （2）KM4（7-8）、KM5（8-9）常闭触点接触不良 （3）KM1 线圈损坏	（1）更换十字开关 （2）调整触点位置或更换触点 （3）更换线圈
主轴电动机不能停转	KM1 主触点熔焊	更换触头
摇臂升降后，不能夹紧	（1）SQ2 位置不当 （2）SQ2 损坏 （3）连接到 SQ2 的 6、10、14 号线中有脱落或断路	（1）调整 SQ2 的位置 （2）更换 SQ2 （3）检查 6、10、14 号线
摇臂升降方向与十字开关标记的扳动方向相反	摇臂升降电动机 M4 相序接反	更换 M4 相序
立柱能放松，但主轴箱不能放松	（1）KM3（7-22）接触不良 （2）KA（7-22）或 KA（7-24）接触不良 （3）KM2（22-23）常闭触点不通 （4）KA 线圈损坏 （5）YV 线圈开路 （6）22、23、24 号线中有脱落或断路	用万用表电阻挡检查相关部位并修复

7.6.4 Z3040 摇臂钻床电气模拟装置的试运行操作

1．准备工作

① 查看装置背面各电器元件上的接线是否紧固，各熔断器是否安装良好。

② 独立安装好接地线，设备下方垫好绝缘垫，将各开关置分断位。

③ 插上三相电源。

2．试运行操作

① 使装置中漏电保护部分的接触器先吸合，再合上 QS1。

② 按下 SB3，KM 吸合，电源指示灯亮，说明机床电源已接通，同时主轴箱夹紧指示灯亮，说明 YV 没有通电。

③ 转动 SA6，冷却泵电动机工作，相应的指示灯亮；转动 SA3，照明灯亮。

④ 十字开关手柄向右，主轴电动机 M2 旋转，手柄回到中间 M2 即停转。

⑤ 十字开关手柄向上，摇臂升降电动机 M4 正转，相应的指示灯亮；再把 SQ2 置于“上夹”位置，这是模拟实际中摇臂的松开操作，然后把十字开关手柄扳回中间，M4 应立

即反转，对应的指示灯亮；最后把 SQ2 置中间位置，M4 停转，这是模拟摇臂上升到指定高度后的夹紧操作。以上即为摇臂上升和夹紧工作的自动循环。实际机床中，SQ2 能自行动作，模拟装置中靠手动模拟。摇臂下降和夹紧的自动循环与前面的过程相类似（十字开关向下，SQ2 置“下夹”）。SQ1 起摇臂升降的终端保护作用。

⑥ 按下 SB1，立柱夹紧松开电动机 M3 正转，立柱夹紧，对应的指示灯亮；放开按钮 SB1，M3 即停。

按下 SB2，M3 反转，立柱放松，相应的指示灯亮，同时 KA 吸合并自锁，主轴箱放松，相应的指示灯亮；松开 SB2，M3 即停转，但 KA 仍吸合，主轴箱放松指示灯始终亮。要使主轴箱夹紧，可再按一下 SB1。

⑦ 立柱和主轴箱的夹紧、松开控制（两者有电气上的连锁）。

按下 SB4，机床电源即被切断。

7.6.5　Z3040 摇臂钻床电气控制线路故障及排除实训

1．实训内容

① 用通电试验方法发现故障现象，进行故障分析，并在电气原理图中用虚线标出最小故障范围。

② 按图 7-41 所示排除 Z3040 摇臂钻床主电路或控制电路中人为设置的两个电气自然故障点。

2．电气故障的设置原则

人为设置的故障点，必须是模拟机床在使用过程中由于受到振动、受潮、高温、异物侵入、电动机负载及线路长期过载运行、启动频繁、安装质量低劣和调整不当等原因造成的“自然”故障。

切忌设置改动线路、换线、更换电器元件等由于人为原因造成的非“自然”的故障点。

故障点的设置，应做到隐蔽且设置方便，除简单控制线路外，故障一般不宜设置在单独支路或单一回路中。

对于设置一个以上故障点的线路，其故障现象应尽可能不要相互掩盖。否则学生在检修时，若检查思路尚清楚，但检修到定额时间的 2/3 还不能查出一个故障点时，可作适当的提示。

应尽量不设置容易造成人身或设备事故的故障点。必要时，教师必须在现场密切注意学生的检修动态，随时做好采取应急措施的准备。

设置的故障点，必须与学生应该具有的修复能力相适应。

3．实训步骤

① 先熟悉原理，再进行正确的通电试车操作。

② 熟悉电器元件的安装位置，明确各电器元件的作用。

③ 教师示范故障分析检修过程（故障可人为设置）。

④ 教师设置让学生知道的故障点，指导学生如何从故障现象着手进行分析，逐步引导到采用正确的检查步骤和检修方法上。

⑤ 教师设置人为的自然故障点，由学生检修。

4．实训要求

① 学生应根据故障现象，先在原理图中正确标出最小故障范围的线段，然后采用正确的检查和排故方法，在定额时间内排除故障。

② 排除故障时，必须修复故障点，不得采用更换电器元件、借用触点及改动线路的方法，否则，作不能排除故障点扣分。

③ 检修时，严禁扩大故障范围或产生新的故障，并不得损坏电器元件。

Z3040 摇臂钻床的电气故障原理图如图 7-41 所示，故障设置表如表 7-5 所示。

表 7-5　故障设置表

故障开关	故 障 现 象	备　　注
K1	机床不能启动	电源能接通，冷却泵能启动，其他控制失灵
K2	机床不能启动	电源能接通，冷却泵能启动，其他控制失灵
K3	机床不能启动	电源能接通，冷却泵能启动，其他控制失灵
K4	主轴电动机不能启动	
K5	主轴电动机不能启动	
K6	摇臂不能上升	
K7	摇臂不能上升	
K8	摇臂不能下降	
K9	摇臂不能下降	
K10	摇臂不能下降	
K11	立柱不能夹紧	
K12	立柱不能夹紧	
K13	立柱不能夹紧	
K14	立柱自行松开	通电后，立柱自行松开
K15	立柱不能松开	
K16	立柱不能松开	
K17	主轴箱不能保持松开	按下立柱放松按钮，KM3 吸合，立柱松紧电机反转，中间继电器 KA、电磁阀 YV 吸合，主轴箱松开；松开按钮，KA、YV 释放，主轴箱夹紧
K18	主轴箱不能松开	按下立柱放松按钮，KM3 吸合，立柱松紧电机反转，中间继电器 KA、电磁阀 YV 不动作，主轴箱不能松开
K19	主轴箱不能松开	按下立柱放松按钮，KM3 吸合，立柱松紧电机反转，中间继电器 KA、电磁阀 YV 不动作，主轴箱不能松开
K20	主轴箱不能松开	按下立柱放松按钮，KM3 吸合，立柱松紧电机反转，中间继电器 KA 吸合，电磁阀 YV 不动作，主轴箱不能松开
K21	主轴箱不能松开	按下立柱放松按钮，KM3 吸合，立柱松紧电机反转，中间继电器 KA 吸合，电磁阀 YV 不动作，主轴箱不能松开
K22	机床不能启动	按下 SB3，电源开关 KM 不动作，电源无法接通
K23	电源开关 KM 不能保持	按下 SB3，KM 吸合；松开 SB3，KM 释放，机床断电
K24	冷却泵不能启动	
K25	照明灯不亮	

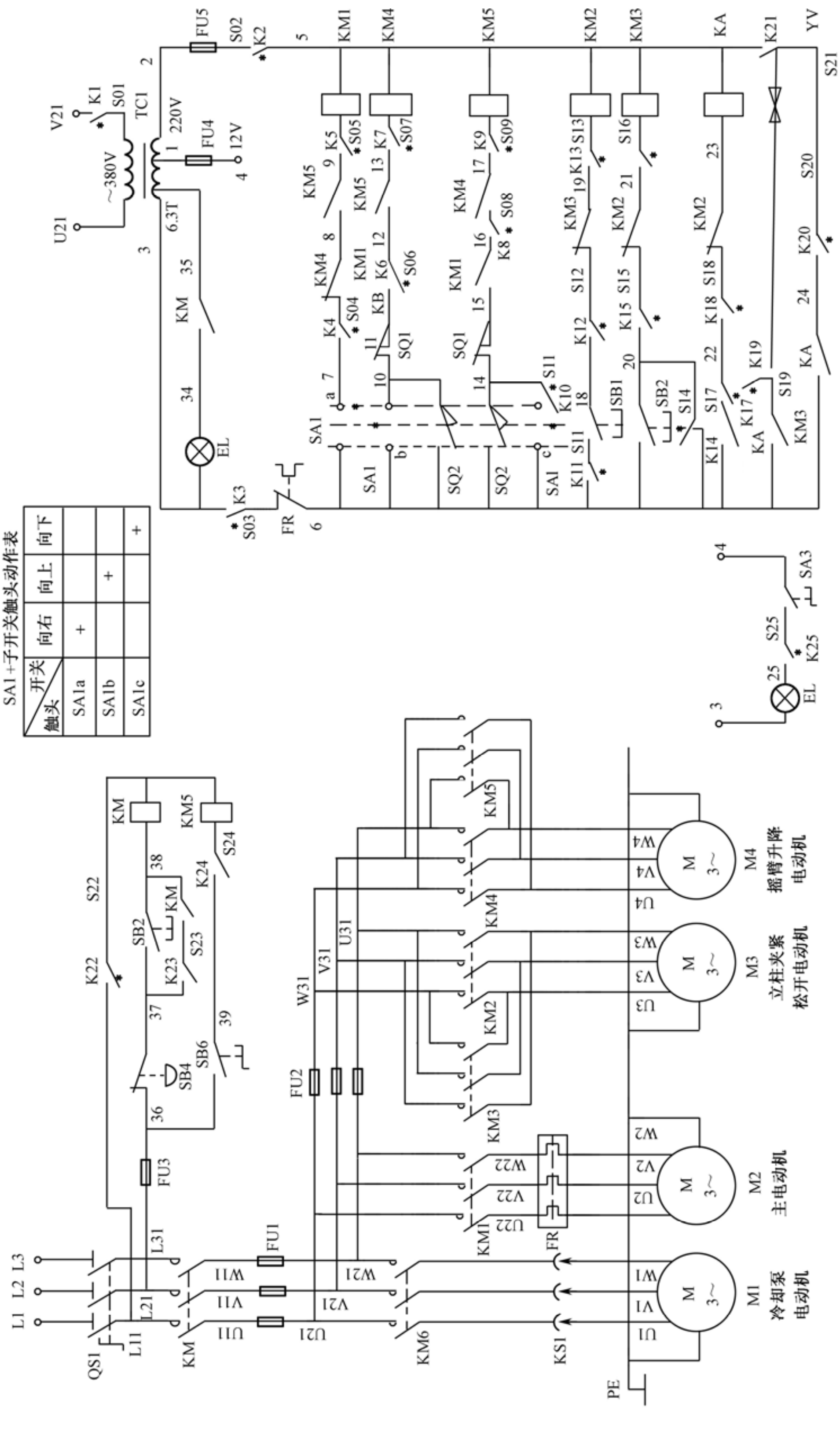


图 7-41　Z3040 摇臂钻床故障电气原理图

7.7　T68 卧式镗床电气及PLC控制系统实训

镗床是一种精密加工机床，主要用于加工精确的孔或孔间距离要求较为精确的零件，特别是分布在不同位置、相互之间相对位置精度要求很严格的孔，如变速箱等零件上的轴承孔。镗床的主要类型有卧式镗床、落地镗床、立式镗床、坐标镗床和专用镗床等。其中卧式镗床应用最为广泛，具有万能性特点，不但能完成钻孔、镗孔等孔加工，而且还能切削端面、内外圆及平面等。

T68 型卧式镗床主要由床身、工作台、镗头架、前立柱、后立柱和尾架等组成，如图 7-42 所示。床身的一端固定着前立柱，在前立柱的垂直导轨上装有上下可移动的镗头架。镗头架里装有主轴部分、进给箱、变速箱及操纵机构等部件。根据加工情况的不同，切削刀具可固定在镗轴前端的锥形孔里，或装在花盘上的刀具溜板上。后立柱可沿着床身导轨在镗轴的轴线方向调整位置。后立柱的尾架则用来支持装夹在镗轴上的镗杆末端，与镗头架同时升降。工作台安置在床身的导轨上，由上、下溜板和可转动的工作台组成。

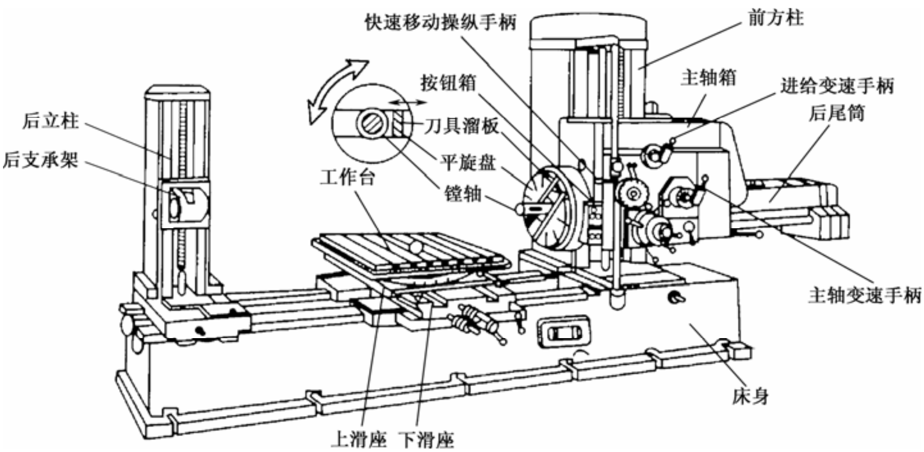


图 7-42　T68 卧式镗床结构图

本项目训练的目的包括以下几方面：

① 熟悉 T68 镗床电气控制电路的特点；

② 了解 T68 镗床电气控制电路板中各电器位置的合理布置及配线方式；

③ 熟悉所用电器的规格、型号、用途及动作原理；

④ 学习 T68 镗床电气控制电路板的接线规则和方法；

⑤ 了解 T68 镗床电气控制电路的线号标注规则及导线、按钮规定使用的颜色；

⑥ 正确使用仪表、工具等对机床电气控制电路进行有针对性的检查、测试和维修。

7.7.1　T68 卧式镗床的实训内容

T68 卧式镗床的实训内容包括以下几个方面。

1．面板 1

面板上安装有机床所有的主令电器及动作指示灯，机床的所有操作都在这块面板上进行，指示灯可以指示机床的相应动作。

2．面板 2

面板上装有断路器、熔断器、接触器、热继电器、变压器等元器件，这些元器件直接安装在面板表面，可以很直观地查看它们的动作情况。

3．三相异步电动机

机床有两个 380V 三相鼠笼异步电动机，分别用做主轴电动机（双速）和快速移动电动机。

4．故障开关箱

机床设有 32 个开关，其中 K1～K25 用于故障设置；K26～K31 保留；K32 用做指示灯开关，可以用来设置机床动作指示与不指示。

5．机床原理图

本节只给出相应的机床电气原理图，如图 7-43 所示，详细内容请参考第 3 章的 3.9 节。

7.7.2　T68 卧式镗床电气线路的工作原理

1．结构及运动形式

（1）T68 卧式镗床的结构

T68 卧式镗床的结构如图 7-44 所示。

（2）T68 卧式镗床的运动形式

图 7-44 中，用箭头表示 T68 卧式镗床的运动形式。

① 主运动：镗杆（主轴）的旋转或平旋盘（花盘）的旋转。

② 进给运动：主轴轴向（进、出）移动，主轴箱（镗头架）的垂直（上、下）移动，花盘刀具溜板的径向移动，工作台的纵向（前、后）和横向（左、右）移动。

③ 辅助运动：工作台的旋转运动，后立柱的水平移动和尾架的垂直移动。

主运动和各种常速进给运动由主轴电机 1M 驱动，各部分的快速进给运动由快速进给电机 2M 驱动。

2．电气控制线路的特点

① 因机床主轴调速范围较大，且恒功率，故主轴与进给电动机 1M 采用△/YY 双速电机。低速时，1U1、1V1、1W1 接三相交流电源，1U2、1V2、1W2 悬空，定子绕组接成三角形△，每相绕组中两个线圈串联，形成的磁极对数 $P=2$；高速时，1U1、1V1、1W1 短接，1U2、1V2、1W2 接电源，电动机定子绕组连接成双星形（YY），每相绕组中的两个线圈并联，磁极对数 $P=1$。高、低速的变换，由主轴孔盘变速机构内的行程开关 SQ7 控制，其动作说明见表 7-6。

表 7-6　主电动机高、低速变换行程开关动作说明

位置 / 触点	主电动机低速	主电动机高速
SQ_7（11-12）	关	开

② 主电动机 1M 可正、反转连续运行，也可点动控制，点动时为低速。主轴要求快速准确制动，故采用反接制动，控制电器采用速度继电器。为限制主电动机的启动和制动电流，在点动和制动时，定子绕组串入电阻 R。

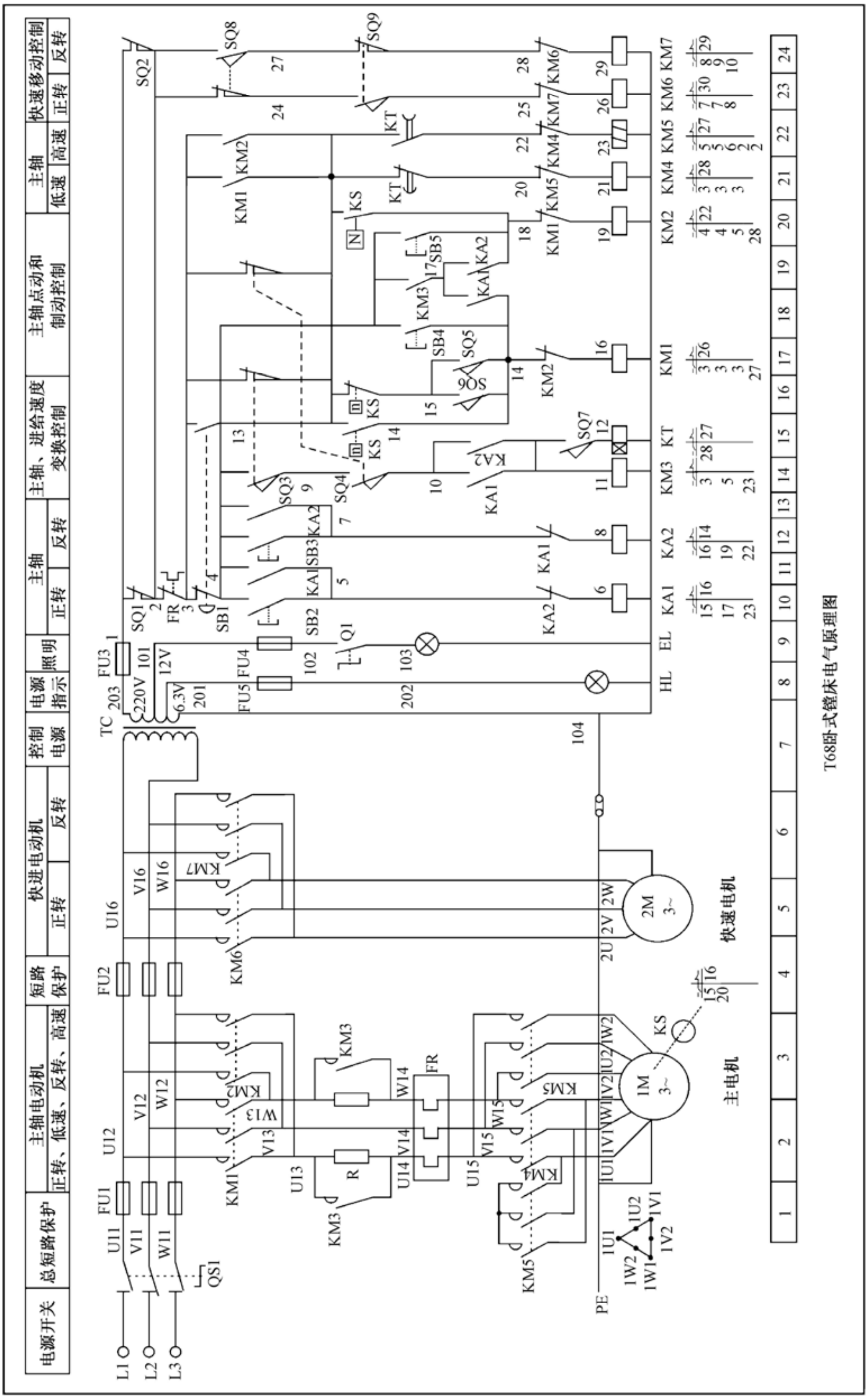


图 7-43　T68 卧式镗床电气原理图

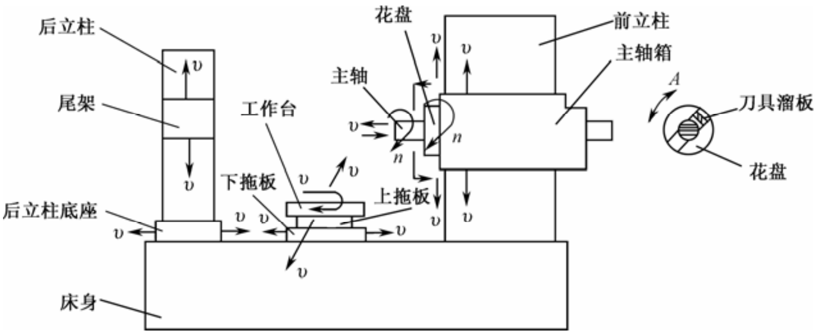


图 7-44　T68 卧式镗床结构示意图

③ 主电动机低速时直接启动；高速是由低速启动延时后再自动转成高速运行，以减小启动电流。

④ 在主轴变速或进给变速时，主电动机需要缓慢转动，以保证变速齿轮进入良好啮合状态。主轴和进给变速均可在运行中进行，变速操作时，主电动机作低速断续冲动，变速完成后又恢复运行。主轴变速时，电动机的缓慢转动由行程开关 SQ3 和 SQ5 及速度继电器 KS 共同完成；进给变速时，由行程开关 SQ4 和 SQ6 及 KS 共同完成，见表 7-7。

表 7-7　主轴变速和进给变速行程开关动作说明

位置 / 触点	变速孔盘拉出（变速时）	变速后变速孔盘推回	位置 / 触点	变速孔盘拉出（变速时）	变速后变速孔盘推回
SQ3（4-9）	−	+	SQ4（9-10）	−	+
SQ3（3-13）	+	−	SQ4（3-13）	+	−
SQ5（15-14）	+	−	SQ6（15-14）	+	−

注：表中“+”表示接通；“−”表示断开。

7.7.3　电气控制线路的分析

1．主电动机的启动控制

（1）主电动机的点动控制

主电动机的点动有正向点动和反向点动两种，分别由按钮 SB4 和 SB5 控制。按下 SB4，接触器 KM1 线圈通电吸合，KM1 的辅助常开触点（3-13）闭合，使接触器 KM4 线圈通电吸合，三相电源经 KM1 的主触点、电阻 R 和 KM4 的主触点接通主电动机 1M 的定子绕组，接法为三角形，使电动机在低速下正向旋转。松开 SB4，主电动机断电停止。

反向点动与正向点动控制过程相似，由按钮 SB5、接触器 KM2、KM4 实现。

（2）主电动机的正、反转控制

当要求主电动机正向低速旋转时，行程开关 SQ7 的触点（11-12）处于断开位置，主轴变速和进给变速用行程开关 SQ3（4-9）、SQ4（9-10）均为闭合状态。按下 SB2，中间继电器 KA1 线圈通电吸合，它有 3 对常开触点：KA1 常开触点（4-5）闭合自锁；KA1 常开触点（10-11）闭合，接触器 KM3 线圈通电吸合，KM3 主触点闭合，电阻 R 短接；KA1 常开触点（17-14）闭合，KM3 的辅助常开触点（4-17）闭合，使接触器 KM1 线圈通电吸合，并将 KM1 线圈自锁。KM1 的辅助常开触点（3-13）闭合，接通主电动机低速用接触器 KM4 线圈，使其通电吸合。由于接触器 KM1、KM3、KM4 的主触点均闭合，故主电动机

在全电压、定子绕组为三角形连接下直接启动，低速运行。

当要求主电动机为高速旋转时，行程开关 SQ7 的触点（11-12）、SQ3（4-9）、SQ4（9-10）均处于闭合状态。按下 SB2 后，一方面 KA1、KM3、KM1、KM4 的线圈相继通电吸合，使主电动机在低速下直接启动；另一方面由于 SQ7（11-12）的闭合，使时间继电器 KT（通电延时式）线圈通电吸合，经延时后，KT 的通电延时断开常闭触点（13-20）断开，KM4 线圈断电，主电动机的定子绕组脱离三相电源，而 KT 的通电延时闭合常开触点（13-22）闭合，使接触器 KM5 线圈通电吸合，KM5 的主触点闭合，将主电动机的定子绕组接成双星形后，重新接到三相电源，故从低速启动转为高速旋转。

主电动机的反向低速或高速的启动旋转过程与正向启动旋转过程相似，只是反向启动旋转所用的电器为按钮 SB3，中间继电器 KA2，接触器 KM3、KM2、KM4、KM5，时间继电器 KT。

2. 主电动机的反接制动控制

当主电动机正转时，速度继电器 KS 正转，常开触点 KS（13-18）闭合，而正转的常闭触点 KS（13-15）断开。主电动机反转时，KS 反转，常开触点 KS（13-14）闭合，为主电动机正转或反转停止时的反接制动做准备。按停止按钮 SB1 后，主电动机的电源反接，迅速制动，转速降至速度继电器的复位转速时，其常开触点断开，自动切断三相电源，主电动机停转。具体的反接制动过程如下所述。

（1）主电动机正转时的反接制动

设主电动机为低速正转，电器 KA1、KM1、KM3、KM4 的线圈通电吸合，KS 的常开触点 KS（13-18）闭合。按下 SB1，SB1 的常闭触点（3-4）先断开，使 KA1、KM3 线圈断电，KA1 的常开触点（17-14）断开，又使 KM1 线圈断电，一方面使 KM1 的主触点断开，主电动机脱离三相电源，另一方面使 KM1（3-13）分断，使 KM4 断电；SB1 的常开触点（3-13）随后闭合，使 KM4 重新吸合，此时主电动机由于惯性转速还很高，KS（13-18）仍闭合，故使 KM2 线圈通电吸合并自锁，KM2 的主触点闭合，使三相电源反接后经电阻 R、KM4 的主触点接到主电动机定子绕组，进行反接制动。当转速接近零时，KS 的正转常开触点 KS（13-18）断开，KM2 线圈断电，反接制动完毕。

（2）主电动机反转时的反接制动

主电动机反转时的制动过程与正转制动过程相似，只是所用的电器是 KM1、KM4、KS 的反转常开触点 KS（13-14）。

（3）主电动机高速正、反转时的反接制动

主电动机工作在高速正转及高速反转时的反接制动过程可根据上面的介绍自行分析。在此仅指明，高速正转时反接制动所用的电器是 KM2、KM4、KS（13-18）触点；高速反转时反接制动所用的电器是 KM1、KM4、KS（13-14）触点。

3. 主轴或进给变速时主电动机的缓慢转动控制

主轴或进给变速既可以在停车时进行，又可以在镗床运行中进行。为使变速齿轮更好地啮合，可接通主电动机的缓慢转动控制电路。

当主轴变速时，将变速孔盘拉出，行程开关 SQ3 的常开触点（4-9）断开，接触器 KM3 线圈断电，主电路中接入电阻 R，KM3 的辅助常开触点（4-17）断开，使 KM1 线圈断电，主电动机脱离三相电源。所以，该机床可以在运行中变速，主电动机能自动停止。旋转变速孔盘，选好所需的转速后，将孔盘推入。在此过程中，若滑移齿轮的齿和固定齿轮的齿发生

顶撞，则孔盘不能推回原位，行程开关 SQ3、SQ5 的常闭触点 SQ3（3-13）、SQ5（15-14）闭合，接触器 KM1、KM4 线圈通电吸合，主电动机经电阻 R 在低速下正向启动，接通瞬时点动电路。主电动机转动达某一转速时，速度继电器 KS 的正转常闭触点 KS（13-15）断开，接触器 KM1 线圈断电，而 KS 的正转常开触点 KS（13-18）闭合，使 KM2 线圈通电吸合，主电动机反接制动。当转速降到 KS 的复位转速后，KS 的常闭触点 KS（13-15）又闭合，常开触点 KS（13-18）又断开，重复上述过程。这种间歇的启动、制动，使主电动机缓慢旋转，以利于齿轮的啮合。若孔盘退回原位，则 SQ3、SQ5 的常闭触点 SQ3（3-13）、SQ5（15-14）断开，切断缓慢转动电路。SQ3 的常开触点 SQ3（4-9）闭合，使 KM3 线圈通电吸合，其常开触点（4-17）闭合，又使 KM1 线圈通电吸合，主电动机在新的转速下重新启动。

进给变速时的缓慢转动控制过程与主轴变速相同，不同的是使用的电器是行程开关 SQ4、SQ6。

4．主轴箱、工作台或主轴的快速移动

该机床各部件的快速移动是由快速手柄操纵快速移动电动机 2M 拖动完成的。当快速手柄扳向正向快速位置时，行程开关 SQ9 被压动，接触器 KM6 线圈通电吸合，快速移动电动机 2M 正转。同理，当快速手柄扳向反向快速位置时，行程开关 SQ8 被压动，KM7 线圈通电吸合，2M 反转。

5．主轴进刀与工作台的连锁

为防止镗床或刀具损坏，主轴箱和工作台的机动进给在控制电路中必须互相连锁，不能同时接通，由行程开关 SQ1、SQ2 实现。当同时有两种进给时，SQ1、SQ2 均被压动，切断控制电路的电源，避免机床或刀具的损坏。

7.7.4　T68 卧式镗床电气线路故障与维修

这里仅选一些有代表性的故障加以分析和说明。

1．主轴的转速与转速指示牌不符

这种故障一般有两种现象：一种是主轴的实际转速比标牌指示数增加或减少一倍；另一种是电动机的转速没有高速挡或没有低速挡。这两种故障现象，前者大多由于安装调整不当引起，因为 T68 镗床有 18 种转速，是采用双速电动机和机械滑移齿轮来实现的。变速后，1、2、4、6、8……挡由电动机以低速运转驱动，而 3、5、7、9……挡由电动机以高速运转驱动。主轴电动机的高、低速转换是靠微动开关 SQ7 的通断来实现的，微动开关 SQ7 安装在主轴调速手柄的旁边，主轴调速机构转动时推动一个撞钉，撞钉推动簧片使微动开关 SQ7 通或断，如果安装调整不当，使 SQ7 动作恰恰相反，则会发生主轴的实际转速比标牌指示数增加或减少一倍。

主轴电动机的转速没有高速挡或没有低速挡的故障原因较多，常见的是时间继电器 KT 不动作，或微动开关 SQ7 安装的位置移动，造成 SQ7 始终处于接通或断开的状态等。如 KT 不动作或 SQ7 始终处于断开状态，则主轴电动机 1M 只有低速；若 SQ7 始终处于接通状态，则 1M 只有高速。但要注意，如果 KT 虽然吸合，但由于机械卡住或触点损坏，使常开触点不能闭合，则 1M 也不能转换到高速挡运转，而只能在低速挡运转。

2．主轴变速手柄拉出后，主轴电动机不能冲动

产生这一故障一般有两种现象：一种是变速手柄拉出后，主轴电动机 1M 仍以原来的转

向和转速旋转；另一种是变速手柄拉出后，1M 能反接制动，但制动到转速为零时，不能进行低速冲动。产生这两种故障现象的原因，前者多数是由于行程开关 SQ3 的常开触点 SQ3（4-9）因质量等原因绝缘被击穿造成；而后者则是由于行程开关 SQ3 和 SQ5 的位置移动、触点接触不良等，使触点 SQ3（3-13）、SQ5（14-15）不能闭合或速度继电器的常闭触点 KS（13-15）不能闭合所致。

3．主轴电动机 1M不能进行正反转点动、制动及主轴和进给变速冲动控制

产生这种故障的原因，往往是上述各种控制电路的公共回路上出现故障。如果伴随着不能进行低速运行，则故障可能是控制线路 13-20-21-0 中有断开点，否则，故障可能是主电路的制动电阻器 R 及引线上有断开点。若主电路仅断开一相电源，则电动机还会伴有缺相运行时发出的嗡嗡声。

4．主轴电机正转点动、反转点动正常，但不能正反转

该故障可能是控制线路 4-9-10-11-KM3 线圈-0 中有断开点。

5．主轴电机不能制动

该故障可能的原因有：① 速度继电器损坏；② SB1 中的常开触点接触不良；③ 3、13、14、16 号线中有脱落或断开现象；④ KM2（14-16）、KM1（18-19）触点不通。

6．主轴电机点动、低速正反转及低速反接制动均正常，但高、低速转向相反，且当主轴电机高速运行时，不能停机

该故障可能的原因是误将三相电源在主轴电机高速和低速运行时都接成同相序，把 1U2、1V2、1W2 中任意两根对调即可。

7．不能快速进给

该故障可能是线路 2-24-25-27-KM6 线圈-0 中有断路。

7.7.5 T68 卧式镗床电气模拟装置的试运行操作

1．准备工作

① 查看装置背面各电器元件上的接线是否紧固，各熔断器是否安装良好。

② 独立安装好接地线，设备下方垫好绝缘垫，将各开关置分断位。

③ 插上三相电源。

2．操作试运行

① 使装置中漏电保护部分接触器先吸合，再合上 QS1，电源指示灯亮。

② 确认主轴变速开关 SQ3、SQ5，进给变速转换开关 SQ4、SQ6 分别处于“主轴运行”位（中间位置），然后对主轴电机、快速移动电机进行电气模拟操作。必要时也可先试操作“主轴变速冲动”、“进给变速冲动”。

③ 主轴电机低速正向运转。

条件：SQ7（11-12）断（实际中 SQ7 与速度选择手柄联动）。

操作：按 SB2→KA1 吸合并自锁，KM3、KM1、KM4 吸合，主轴电机 1M 为△接法，低速运行；按 SB1，主轴电机制动停转。

④ 主轴电机高速正向运转。

条件：SQ7（11-12）通（实际中 SQ7 与速度选择手柄联动）。

操作：按 SB2→KA1 吸合并自锁，KM3、KT、KM1、KM4 相继吸合，使主轴电机 1M

接成△，低速运行；延时后，KT（13-20）断，KM4 释放，同时 KT（13-22）闭合，KM5 通电吸合，使 1M 换接成YY，高速运行。按 SB1→主轴电机制动停转。

主轴电机的反向低速、高速操作可按 SB3，参与的电器有 KA2、KT、KM3、KM2、KM4、KM5，可参照上面③、④步骤进行操作。

⑤ 主轴电机正、反向点动操作。按 SB4 可实现电机的正向点动，参与的电器有 KM1、KM4；按 SB5 可实现电机的反向点动，参与的电器有 KM2、KM4。

⑥ 主轴电机反接制动操作。

按 SB2，主轴电机 1M 正向低速运行，此时 KS（13-18）闭合，KS（13-15）断。在按下 SB1 按钮后，KA1、KM3 释放，KM1 释放，KM4 释放，SB1 按到底后，KM4 又吸合，KM2 吸合，主轴电机 1M 在串入电阻下反接制动，转速下降至 KS（13-18）断、KS（13-15）闭合时，KM2 失电释放，制动结束。

按 SB2，主轴电机 1M 高速正向运行，此时 KA1、KM3、KT、KM1、KM5 为吸合状态，速度继电器 KS（13-18）闭合，KS（13-15）断开。

在按下 SB1 按钮后，KA1、KM3、KT、KM1 释放，而 KM2 吸合，同时 KM5 释放，KM4 吸合，电机工作于△连接下，并串入电阻反接制动至停止。

按 SB3、电机工作于低速反转或高速反转时的制动操作分析，可参照上述分析对照进行。

⑦ 主轴变速与进给变速时的主轴电机瞬动模拟操作。

a. 主轴变速操作（主轴电机运行或停止均可）。

操作：将 SQ3、SQ5 置“主轴变速”位，此时主轴电机工作于间隙的启动和制动下，获得低速旋转，便于齿轮啮合。电器状态为：KM4 吸合，KM1、KM2 交替吸合。将开关复位，变速停止。

实际机床中，变速时，变速机械手柄与 SQ3、SQ5 有机械联系，变速时带动 SQ3、SQ5 动作，而后复位。

b. 进给变速操作（主轴电机运行或停止均可）。

操作：将 SQ4、SQ6 置“主轴进给变速”位，电气控制与效果同上。

实际机床中，进给变速时，进给变速机械手柄与 SQ4、SQ6 有机械联系，变速时带动 SQ4、SQ6 动作，而后复位。

⑧ 主轴箱、工作台或主轴的快速移动操作。均由快进电机 2M 拖动，电机只工作于正转或反转，由行程开关 SQ9、SQ8 完成电气控制。

实际机床中，SQ9、SQ8 均与快速移动机械手柄连动，电机只工作于正转或反转，拖动均由机械离合器完成。

⑨ SQ1、SQ2 为互锁开关，主轴运行时，同时压动，电机即停转；压动其中任意一个，电机不会停转。

装置初次试运行时，可能会出现主轴电机 1M 正转、反转均不能停机的现象，这是由于电源相序接反引起的，此时应立即切断电源，将电源相序调换即可。

7.7.6　T68 卧式镗床电气控制线路故障及排除实训

1．实训内容

① 用通电试验方法发现故障现象，进行故障分析，并在电气原理图中用虚线标出最小故障范围。

② 按图 7-45 所示排除 T68 镗床主电路或电磁吸盘电路中人为设置的两个电气自然故障点。

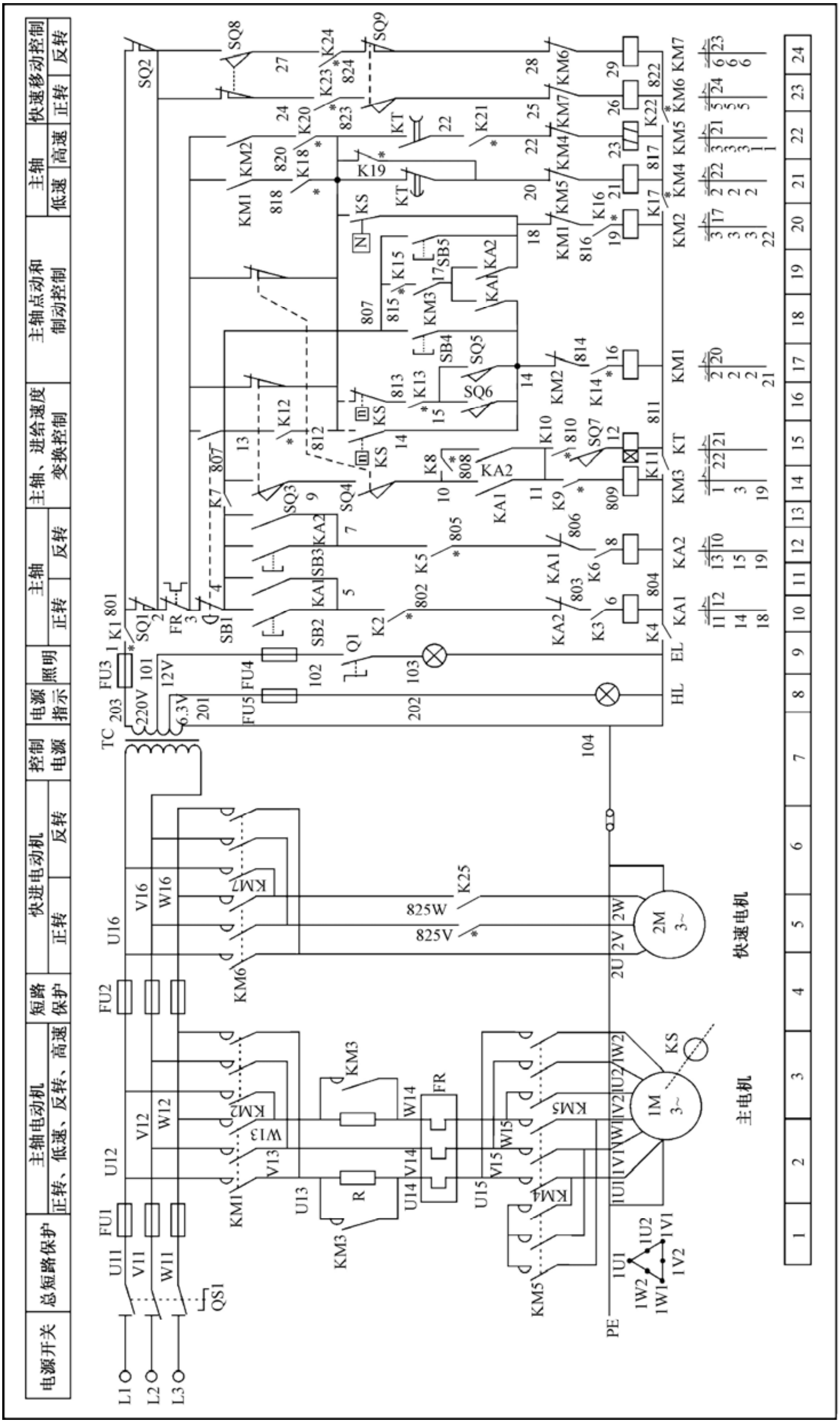


图 7-45 T68卧式镗床电气故障原理图

2．电气故障的设置原则

① 人为设置的故障点，必须是模拟机床在使用过程中，由于受到振动、受潮、高温、异物侵入、电动机负载及线路长期过载运行、启动频繁、安装质量低劣和调整不当等原因造成的“自然”故障。

② 切忌设置改动线路、换线、更换电器元件等由于人为原因造成的非“自然”的故障点。

③ 故障点的设置应做到隐蔽且设置方便，除简单的控制线路外，两处故障一般不宜设置在单独支路或单一回路中。

④ 对于设置一个以上故障点的线路，其故障现象应尽可能不要相互掩盖。否则，若学生在检修时虽然检查思路尚清楚，但检修到定额时间的 2/3 还不能查出一个故障点时，可作适当的提示。

⑤ 应尽量不设置容易造成人身或设备事故的故障点，若有必要，教师必须在现场密切注意学生的检修动态，随时做好采取应急措施的准备。

⑥ 设置的故障点，必须与学生应该具有的修复能力相适应。

T68 卧式镗床电气故障原理图如图 7-45 所示，故障设置一览表如表 7-8 所示。

表 7-8　T68 卧式镗床故障设置一览表

故障 开关	故 障 现 象	备　　注
K1	机床不能启动	主轴电动机、快速移动电动机都无法启动
K2	主轴正转不能启动	按下正转启动按钮无任何反应
K3	主轴正转不能启动	按下正转启动按钮无任何反应
K4	机床不能启动	主轴电动机、快速移动电动机都无法启动
K5	主轴反转不能启动	按下反转启动按钮无任何反应
K6	主轴反转不能启动	按下反转启动按钮无任何反应
K7	主轴正转不能启动	正转启动，KA1 吸合，其他无动作 反转启动，KA2 吸合，其他无动作
K8	反转启动只能点动	正转启动正常，按下 SB3 反转启动按钮时只能点动
K9	主轴不能启动	正转启动，KA1 吸合，其他无动作 反转启动，KA2 吸合，其他无动作
K10	主轴无高速	选择高速时，KT、KM5 无动作
K11	主轴、快速移动电动机不能启动	正转启动，KA1、KM3 吸合，其他无动作 反转启动，KA2、KM3 吸合，其他无动作 按下 SQ8、SQ9 无任何反应
K12	停止无制动	
K13	停止无制动	
K14	主轴电机不能正转	反转正常
K15	主轴只能点动控制	正、反转不能启动，只能点动控制
K16	主轴电机不能反转	正转正常
K17	主轴、快速电机不能启动	KM4、KM5 不能吸合 按 SQ8、SQ9 无反应
K18	主轴正转只能点动	KM4（低速）、KM5（高速）不能保持
K19	主轴无高速	KT 动作，KM4 不会释放，KM5 不能吸合

续表

故障 开关	故 障 现 象	备　　注
K20	主轴反转只能点动	KM4（低速）、KM5（高速）不能保持
K21	主轴无高速	KT 动作，KM4 释放，KM5 不能吸合
K22	不能快速移动	主轴正常
K23	快速电机不能正转	
K24	快速电机不能反转	
K25	快速电机不转	KM6、KM7 能吸合，但电机不转

7.8　X62W万能铣床电气及PLC控制系统实训

7.8.1　X62W万能铣床的实训内容

1．面板 1

面板上安装有机床所有的主令电器及动作指示灯，机床的所有操作都在这块面板上进行，指示灯可以指示机床的相应动作。

2．面板 2

面板上装有断路器、熔断器、接触器、热继电器、变压器等元器件，这些元器件直接安装在面板表面，可以很直观地查看它们的动作情况。

3．电动机

机床有三个 380V 三相笼型异步电动机，分别用做主轴电动机、进给电动机和冷却泵电动机。

4．故障开关箱

机床设有 32 个开关，其中 K1～K29 用于故障设置；K30～K31 四个开关保留；K32 用做指示灯开关，可以用来设置机床动作指示与不指示。

7.8.2　X62W万能铣床电气原理图

X62W 万能铣床电气原理图如图 7-46 所示。

7.8.3　机床分析

1．机床的主要结构及运动形式

（1）主要结构

X62W 万能铣床由床身、主轴、刀杆、横梁、工作台、回转盘、横溜板和升降台等几部分组成，如图 7-47 所示。

（2）运动形式

① 主轴的转动由主轴电动机通过弹性联轴器来驱动传动机构，当机构中的一个双联滑动齿轮块啮合时，主轴即可旋转。

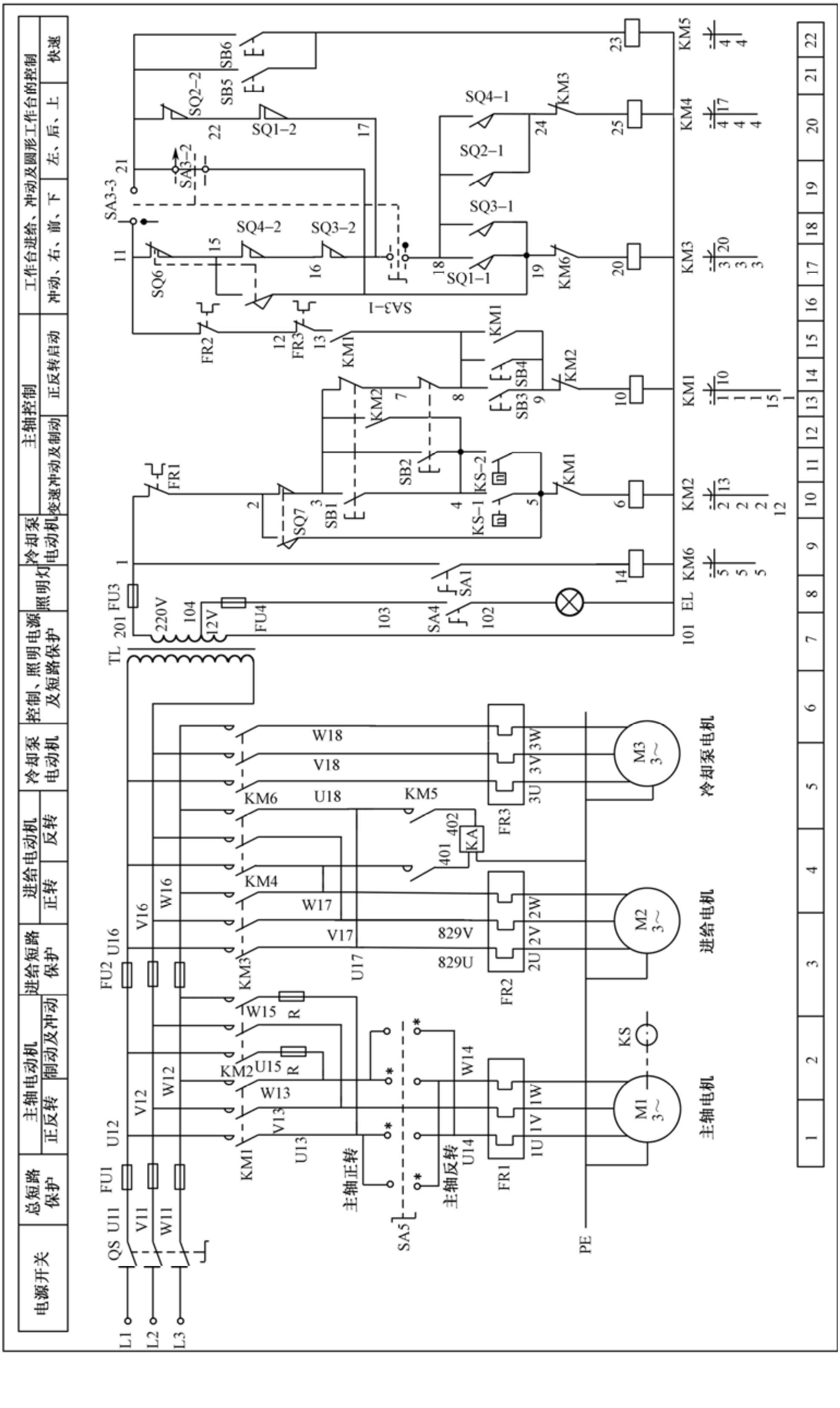


图 7-46　X62W 万能铣床电气原理图

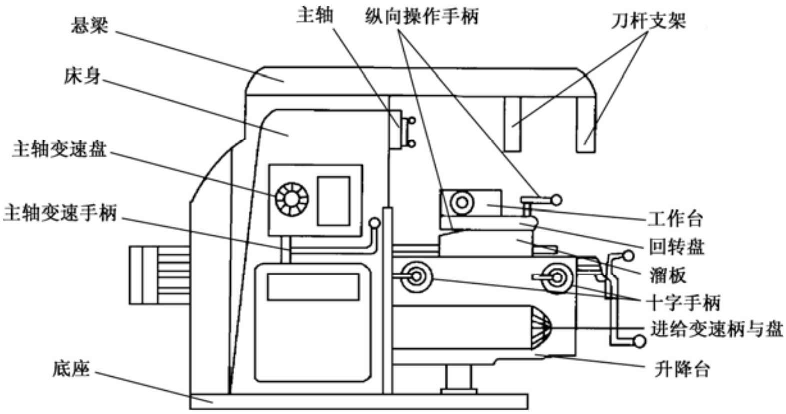


图 7-47　X62W 万能铣床结构

② 工作台面的移动由进给电动机驱动，通过机械机构使工作台进行三种形式六个方向的移动，即工作台面直接在溜板上部可转动部分的导轨上作纵向（左、右）移动，工作台面借助横溜板作横向（前、后）移动，工作台面借助升降台作垂直（上、下）移动。

2．机床对电气线路的主要要求

① 机床要求有三台电动机，分别作为主轴电动机、进给电动机和冷却泵电动机。

② 由于加工时有顺铣和逆铣两种，所以要求主轴电动机能正、反转及在变速时能瞬时过冲一下，以利于齿轮的啮合，并要求能制动停车和实现两地控制。

③ 工作台的三种运动形式、六个方向的移动是依靠机械的方法达到的，对进给电动机要求能正、反转，且要求纵向、横向、垂直三种运动形式相互间有连锁，以确保操作安全；同时要求工作台进给变速时，电动机也能满足瞬间冲动、快速进给及两地控制等要求。

④ 冷却泵电动机只要求正转。

⑤ 进给电动机与主轴电动机需实现两台电动机的连锁控制，即主轴工作后才能进行进给。

3．电气控制线路分析

机床电气控制线路由主电路、控制电路和照明电路三部分组成（见图 7-46）。

1）主电路

该机床有三台电动机，其中 M1 是主轴电动机，M2 是进给电动机，M3 是冷却泵电动机。

① 主轴电动机 M1 通过换相开关 SA5 与接触器 KM1 配合，能进行正反转控制，而与接触器 KM2、制动电阻器 R 及速度继电器配合，能实现串电阻瞬时冲动和正反转反接制动控制，并能通过机械进行变速。

② 进给电动机 M2 能进行正反转控制，通过接触器 KM3、KM4 与行程开关及 KM5、牵引电磁铁 YA 配合，能实现进给变速时的瞬时冲动、六个方向的常速进给和快速进给控制。

③ 冷却泵电动机 M3 只能正转。

④ 熔断器 FU1 作机床总短路保护，也兼作 M1 的短路保护；FU2 作为 M2、M3 及控制变压器 TC、照明灯 EL 的短路保护；热继电器 FR1、FR2、FR3 分别作为 M1、M2、M3 的过载保护。

2）控制电路

（1）主轴电动机的控制（电路见图 7-48）

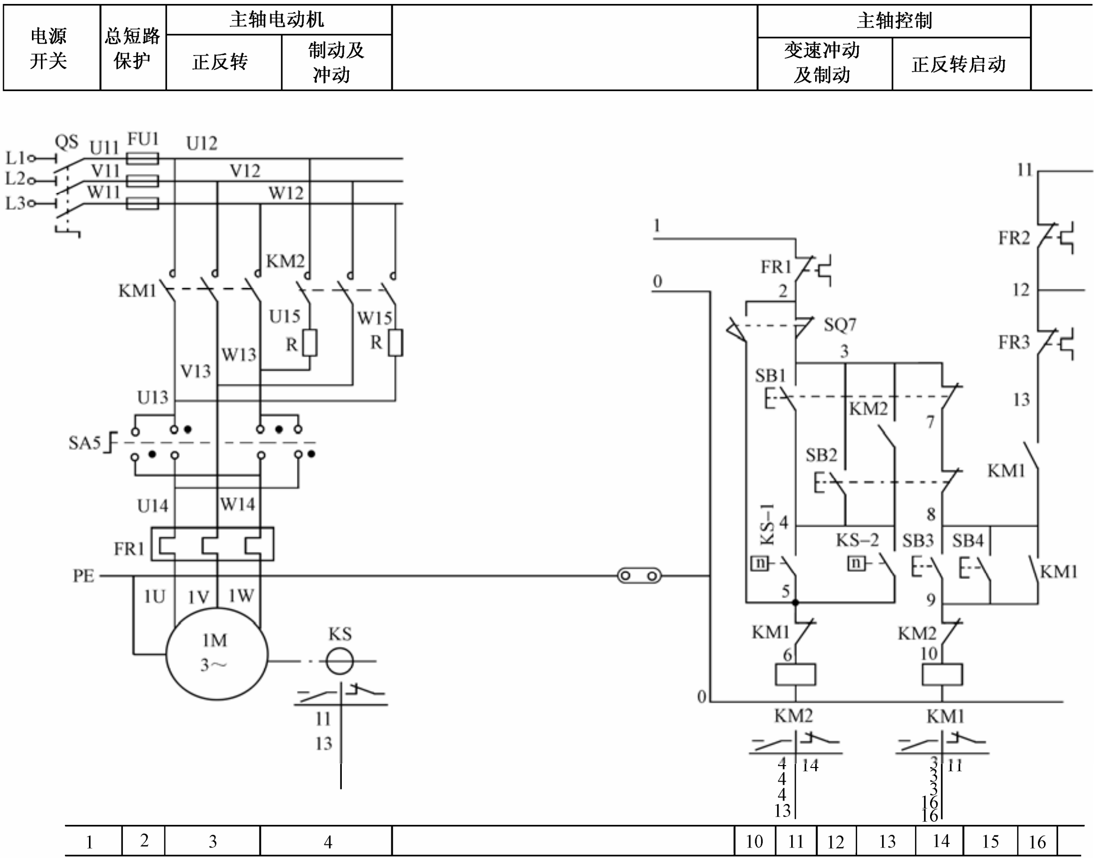


图 7-48　主轴电动机控制电路

① SB1、SB3 与 SB2、SB4 是分别装在机床两边的停止（制动）和启动按钮，实现两地控制，便于操作。

② KM1 是主轴电动机启动接触器，KM2 是反接制动和主轴变速冲动接触器。

③ SQ7 是与主轴变速手柄联动的瞬时动作行程开关。

④ 主轴电动机启动时，要先将 SA5 扳到主轴电动机所需要的旋转方向，然后再按启动按钮 SB3 或 SB4 来启动电动机 M1。

⑤ M1 启动后，速度继电器 KS 的一副常开触点闭合，为主轴电动机的停转制动做好准备。

⑥ 停车时，按停止按钮 SB1 或 SB2 切断 KM1 电路，接通 KM2 电路，改变 M1 的电源相序进行串电阻反接制动。当 M1 的转速低于 120r/min 时，速度继电器 KS 的一副常开触点恢复断开，切断 KM2 电路，M1 停转，制动结束。

据以上分析可写出主轴电机转动（即按 SB3 或 SB4）时控制线路的通路：1－2－3－7－8－9－10－KM1 线圈－0；主轴停止与反接制动（即按 SB1 或 SB2）时的通路：1－2－3－4－5－6－KM2 线圈－0。

⑦ 主轴电动机变速时的瞬动（冲动）控制，是利用变速手柄与冲动行程开关 SQ7 通过

机械上的联动机构进行控制的。

变速时，先下压变速手柄，然后将其拉到前面，当快要落到第二道槽时，转动变速盘，选择需要的转速。此时凸轮压下弹簧杆，使冲动行程 SQ7 的常闭触点先断开，切断 KM1 线圈的电路，电动机 M1 断电；同时 SQ7 的常开触点后接通，KM2 线圈得电动作，M1 被反接制动。当手柄拉到第二道槽时，SQ7 不受凸轮控制而复位，M1 停转。

接着把手柄从第二道槽推回原始位置，见图 7-49 主轴变速冲动控制示意图，凸轮又瞬时压动行程开关 SQ7，使 M1 反向瞬时冲动一下，以利于变速后的齿轮啮合。

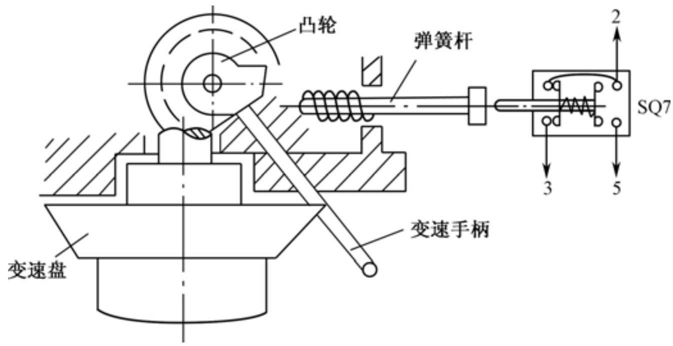


图 7-49　主轴变速冲动控制示意图

需要注意的是，无论开车还是停车时，都应以较快的速度把手柄推回原始位置，以免通电时间过长，引起 M1 转速过高而打坏齿轮。

（2）工作台进给电动机的控制

工作台的纵向、横向和垂直运动都由进给电动机 M2 驱动，接触器 KM3 和 KM4 使 M2 实现正反转，用以改变进给运动方向。该控制电路采用了与纵向运动机械操作手柄联动的行程开关 SQ1、SQ2 和与横向及垂直运动机械操作手柄联动的行程开关 SQ3、SQ4，组成复合连锁控制。即在选择三种运动形式六个方向的移动时，只能进行其中一个方向的移动，以确保操作安全。

由电路原理图可知，M2 电机在主轴电机 M1 启动后才能进行工作。在机床接通电源后，将控制圆形工作台的组合开关 SA3-2（21-19）扳到断开状态，使触点 SA3-1（17-18）和 SA3-3（11-21）闭合，然后按下 SB3 或 SB4，这时接触器 KM1 吸合，使 KM1（8-12）闭合，即可进行工作台的进给控制。

① 工作台纵向（左、右）运动的控制。工作台的纵向运动由进给电动机 M2 驱动，由纵向操纵手柄控制。此手柄是复式的，一个安装在工作台底座的顶面中央部位，另一个安装在工作台底座的左下方。手柄有三个位置：向左、向右、零位。当手柄扳到向右或向左运动方向时，手柄的联动机构压下行程开关 SQ2 或 SQ1，使接触器 KM4 或 KM3 动作，控制进给电动机 M2 的转向。工作台左右运动的行程，可通过调整安装在工作台两端撞铁的位置来实现。当工作台纵向运动到极限位置时，撞铁撞动纵向操纵手柄，使它回到零位，M2 停转，工作台停止运动，从而实现纵向终端保护。

工作台向左运动：在 M1 启动后，将纵向操作手柄扳至向左位置，一方面机械接通纵向离合器，同时在电气上压下 SQ2，使 SQ2-2 断，SQ2-1 通，而其他控制进给运动的行程开关都处于原始位置，此时使 KM4 吸合，M2 反转，工作台向左作进给运动，其控制电路的通路为 11－15－16－17－18－24－25－KM4 线圈－0。

工作台向右运动：当纵向操纵手柄扳至向右位置时，机械上仍然接通纵向进给离合器，但却压动行程开关 SQ1，使 SQ1-2 断，SQ1-1 通，使 KM3 吸合，M2 正转，工作台向右作进给运动，其通路为 11－15－16－17－18－19－20－KM3 线圈－0。

② 工作台垂直（上、下）和横向（前、后）运动的控制。工作台的垂直和横向运动，由垂直和横向进给手柄操纵。此手柄也是复式的，分为两个完全相同的手柄分别装在工作台左侧的前、后方。手柄的联动机械一方面压下行程开关 SQ3 或 SQ4，同时接通垂直或横向进给离合器。操纵手柄有五个位置（上、下、前、后、中间），五个位置是连锁的，工作台的上下和前后的终端保护为：利用装在床身导轨旁与工作台座上的撞铁，将操纵十字手柄撞到中间位置，使 M2 断电停转。

工作台向后（或向上）运动的控制：将十字操纵手柄扳至向后（或向上）位置时，机械上接通横向进给（或垂直进给）离合器，同时压下 SQ3，使 SQ3-2 断，SQ3-1 通，使 KM3 吸合，M2 正转，工作台向后（或向上）运动，其通路为 11－21－22－17－18－19－20－KM3 线圈－0。

工作台向前（或向下）运动的控制：将十字操纵手柄扳至向前（或向下）位置时，机械上接通横向进给（或垂直进给）离合器，同时压下 SQ4，使 SQ4-2 断，SQ4-1 通，使 KM4 吸合，M2 反转，工作台向前（或向下）运动，其通路为 11－21－22－17－18－24－25－KM4 线圈－0。

③ 进给电动机变速时的瞬动（冲动）控制。变速时，为使齿轮易于啮合，进给变速与主轴变速一样，设有变速冲动环节。当需要进行进给变速时，将转速盘的蘑菇形手轮向外拉出并转动转速盘，使所需进给量的标尺数字对准箭头，然后将蘑菇形手轮用力向外拉到极限位置并随即推向原位，就在一次操纵手轮的同时，其连杆机构二次瞬时压下行程开关 SQ6，使 KM3 瞬时吸合，M2 作正向瞬动，其通路为 11－21－22－17－16－15－19－20－KM3 线圈－0。

由于进给变速瞬时冲动的通电回路要经过 SQ1～SQ4 四个行程开关的常闭触点，因此只有当进给运动的操作手柄都在中间（停止）位置时，才能实现进给变速冲动控制，以保证操作时的安全。同时，与主轴变速的冲动控制一样，电动机的通电时间不能太长，以防止转速过高，在变速时打坏齿轮。

④ 工作台的快速进给控制。为提高劳动生产率，要求铣床在不作铣削加工时，工作台能快速移动。

工作台的快速进给也是由进给电动机 M2 驱动的，在纵向、横向和垂直三种运动形式、六个方向上都可以实现快速进给控制。

主轴电动机启动后，将进给操纵手柄扳到所需位置，当工作台按照选定的速度和方向作常速进给移动时，再按下快速进给按钮 SB5（或 SB6），使接触器 KM5 通电吸合，接通牵引电磁铁 YA，电磁铁通过杠杆使摩擦离合器合上，减少中间传动装置，使工作台按运动方向作快速进给运动。当松开快速进给按钮时，电磁铁 YA 断电，摩擦离合器断开，快速进给运动停止，工作台按原常速进给时的速度继续运动。

（3）圆形工作台运动的控制

铣床若需加工螺旋槽、弧形槽等曲线时，可在工作台上安装圆形工作台及其传动机械。圆形工作台的回转运动也是由进给电动机 M2 驱动的。

圆形工作台工作时，先将进给操作手柄扳到中间（停止）位置，然后将圆形工作台组合开关 SA3 扳到圆形工作台接通位置，此时 SA3-1 断，SA3-3 断，SA3-2 通。准备就绪

后，按下主轴启动按钮 SB3 或 SB4，则接触器 KM1 与 KM3 相继吸合，主轴电机 M1 与进给电机 M2 相继启动并运转，而进给电机仅以正转方向带动圆形工作台作定向回转运动，其通路为 11－15－16－17－22－21－19－20－KM3 线圈－0。由上可知，圆形工作台与工作台进给有互锁，即当圆形工作台工作时，不允许工作台在纵向、横向、垂直方向上有任何运动。若因误操作扳动进给运动操纵手柄（即压下 SQ1～SQ4、SQ6 中任意一个），M2 即停转。

7.8.4　X62W万能铣床电气线路故障与维修

X62W 万能铣床电气控制线路与机械系统的配合十分密切，其电气线路的正常工作往往与机械系统的正常工作是分不开的，这就是铣床电气控制线路的特点。正确判断是电气还是机械故障和熟悉机电部分的配合情况，是迅速排除电气故障的关键。这就要求维修人员不仅要熟悉电气控制线路的工作原理，而且还要熟悉有关机械系统的工作原理及机床操作方法。下面通过几个实例来介绍 X62W 万能铣床的常见故障及其排除方法。

1．主轴停车时无制动

主轴无制动时应首先检查按下停止按钮 SB1 或 SB2 后，反接制动接触器 KM2 是否吸合，KM2 不吸合，则故障原因一定在控制电路部分，检查时可先操作主轴变速冲动手柄，若有冲动，故障范围就缩小到速度继电器和按钮支路上。若 KM2 吸合，则故障原因相对复杂一些，原因之一，是主电路的 KM2、R 制动支路中，至少有缺一相的故障存在；其二是，速度继电器的常开触点过早断开。在检查时，只要仔细观察故障现象，这两种故障原因是能够区别的，前者的故障现象是完全没有制动作用，而后者则是制动效果不明显。

由以上分析可知，主轴停车时无制动的故障原因，较多是由于速度继电器 KS 发生故障引起的。若 KS 常开触点不能正常闭合，其原因有推动触点的胶木摆杆断裂，KS 轴伸端圆销扭弯、磨损或弹性连接元件损坏，螺钉、销钉松动或打滑等。若 KS 常开触点过早断开，其原因有 KS 动触点的反力弹簧调节过紧，KS 的永久磁铁转子的磁性衰减等。

应该说明一点，机床电气的故障不是千篇一律的，所以在维修中不可生搬硬套，而应采用理论与实践相结合的灵活处理方法。

2．主轴停车后产生短时反向旋转

这一故障一般是由于速度继电器 KS 动触点弹簧调整得过松，使触点分断过迟引起，只要重新调整反力弹簧便可消除。

3．按下停止按钮后主轴电机不停转

产生该故障的原因有：接触器 KM1 主触点熔焊；反接制动时两相运行；SB3 或 SB4 在启动 M1 后绝缘被击穿。这三种故障原因，根据故障的现象是能够加以区别的：若按下停止按钮后 KM1 不释放，则故障可断定是由熔焊引起的；若按下停止按钮后接触器的动作顺序正确，即 KM1 能释放，KM2 能吸合，同时伴有嗡嗡声或转速过低，则可断定是制动时主电路有缺相故障存在；若制动时接触器动作顺序正确，电动机也能进行反接制动，但放开停止按钮后，电动机又再次自行启动，则可断定故障是由启动按钮绝缘击穿引起的。

4．工作台不能作向上进给运动

由于铣床电气线路与机械系统的配合密切，工作台向上进给运动的控制处于多回路线路之中，因此，不宜采用按部就班的逐步检查的方法。在检查时，可先依次进行快速进给、

进给变速冲动或圆形工作台向前进给、向左进给及向后进给的控制，来逐步缩小故障的范围（一般可从中间环节的控制开始），然后再逐个检查故障范围内的元器件、触点、导线及接点，以查出故障点。在实际检查时，还必须考虑到由于机械磨损或移位使操纵失灵等因素，若发现此类故障原因，应与机修钳工互相配合进行修理。

下面假设故障点在图区 20（图 7-45）上，行程开关 SQ4-1 由于安装螺钉松动而移动位置，造成操纵手柄虽然到位，但触点 SQ4-1（18-24）仍不能闭合。检查时，若进行进给变速冲动控制正常，则说明向上进给回路中线路 11－21－22－17 是完好的；再通过向左进给控制正常，又能排除线路 17－18 和 24－25－0 存在故障的可能性。这样就将故障范围缩小到 18－SQ4－1－24 范围内。再经过仔细检查或测量，很快就能找出故障点。

5．工作台不能作纵向进给运动

首先检查横向或垂直进给是否正常，如果正常，说明进给电动机 M2、主电路、接触器 KM3、KM4 及纵向进给相关的公共支路都正常，此时应重点检查图区 17（图 7-45）上的行程开关 SQ6（11-15）、SQ4-2 及 SQ3-2，即线号为 11－15－16－17 的支路，因为只要三对常闭触点中有一对不能闭合或有一根线头脱落就会使纵向不能进给。然后检查进给变速冲动是否正常，如果也正常，则故障范围缩小到 SQ6（11-15）及 SQ1-1、SQ2-1 上，但一般 SQ1-1、SQ2-1 两副常开触点同时发生故障的可能性很小，而 SQ6（11-15）由于进给变速时，常因用力过猛而容易损坏，所以可先检查 SQ6（11-15）触点，直至找到故障点并予以排除。

6．工作台各个方面都不能进给

可先进行进给变速冲动或圆形工作台控制，如果正常，则故障可能在开关 SA3-1 及 17、18 号引接线上，若进给变速也不能工作，要注意接触器 KM3 是否吸合。如果 KM3 不能吸合，则故障可能发生在控制电路的电源部分，即 11－15－16－18－20 号线路及 0 号线上；若 KM3 能吸合，则应着重检查主电路，包括电动机的接线及绕组是否存在故障。

7．工作台不能快速进给

该故障常见的故障原因是牵引电磁铁电路不通，多数是由线头脱落、线圈损坏或机械卡死引起的。如果按下 SB5 或 SB6 后接触器 KM5 不吸合，则故障在控制电路部分，若 KM5 能吸合，且牵引电磁铁 YA 也吸合正常，则故障大多是由于杠杆卡死或离合器摩擦片间隙调整不当引起，应与机修钳工配合进行修理。需强调的是，在检查 11－15－16－17 支路和 11－21－22－17 支路时，一定要把 SA3 开关扳到中间空挡位置，否则，由于这两条支路是并联的，将检查不出故障点。

7.8.5　X62W万能铣床模拟装置的安装与试运行操作

1．准备工作

① 查看各电器元件上的接线是否紧固，各熔断器是否安装良好。

② 独立安装好接地线，设备下方垫好绝缘垫，将各开关置分断位置。

③ 插上三相电源。

2．试运行操作

插上电源后，各开关均应置分断位置。参看电路原理图，按下列步骤进行机床电气模拟操作运行。

① 先按下主控电源板的启动按钮，合上低压断路器开关 QS。

② SA5 置左位（或右位），电机 M1“正转”或“反转”指示灯亮，说明主轴电机可能运转的转向。

③ 旋转 SA4 开关，“照明”灯亮。转动 SA1 开关，冷却泵电机工作，指示灯亮。

④ 按下 SB3 按钮（或 SB1 按钮），电机 M1 启动（或反接制动）；按下 SB4 按钮（或 SB2 按钮），M1 启动（或反接制动）。注意：不要频繁操作“启动”与“停止”，以免电器过热而损坏。

⑤ 主轴电机 M1 变速冲动操作。

实际中机床的变速是通过变速手柄的操作，瞬间压动 SQ7 行程开关，使电机产生微转，从而使齿轮较好地实现换挡啮合。

本模拟要用手动操作 SQ7，模仿机械的瞬间压动效果：采用迅速的“点动”操作，使电机 M1 通电后立即停转，形成微动或抖动。操作要迅速，以免出现连续运转现象。若出现连续运转时间较长，会使 R 发烫，此时应拉下闸刀后，重新送电操作。

⑥ 主轴电机 M1 停转后，可转动 SA5 转换开关，按启动按钮 SB3 或 SB4，使电机换向。

⑦ 进行进给电机控制操作（SA3 开关状态：SA3-1、SA3-3 闭合，SA3-2 断开）。

3．实际机床中的进给电机

M2 是用于驱动工作台横向（前、后）升降和纵向（左、右）移动的动力源，均通过机械离合器来实现控制状态的选择。电机只作正、反转控制，机械状态手柄与电气开关的动作对应关系如下。

（1）工作台横向、升降控制（机床由十字复式操作手柄控制，既控制离合器又控制相应开关）

工作台向后、向上运动：电机 M2 反转，SQ4 压下。

工作台向前、向下运动：电机 M2 正转，SQ3 压下。

模板操作：按动 SQ4，M2 反转；按动 SQ3，M2 正转。

（2）工作台纵向（左、右）进给运动控制（SA3 开关状态同上）

实际机床中通过一个专用纵向操作手柄，既控制相应离合器，又压动对应的开关 SQ1 和 SQ2，使工作台实现纵向的左和右运动。

模板操作：将十字开关 SA3 扳到左边，M2 正转，工作台左移；将十字开关 SA3 扳到右边，M2 反转，工作台右移。

（3）工作台快速移动操作

在实际机床中，按动 SB5 或 SB6 按钮，电磁铁 YA 动作，改变机械传动链中间传动装置，实现各方向的快速移动。

模板操作：按动 SB5 或 SB6 按钮，KM5 吸合，相应指示灯亮。

（4）进给变速冲动（功能与主轴冲动相同，便于换挡时齿轮的啮合）

实际机床中变速冲动的实现：在变速手柄的操作中，通过联动机构瞬时带动冲动行程开关 SQ6，使电机产生瞬动。

模拟冲动操作：按 SQ6，电机 M2 转动。操作此开关时应迅速压下和放开，以模仿瞬动压下效果。

（5）圆形工作台回转运动控制

将圆形工作台转换开关 SA3 扳到所需位置，此时，SA3-1、SA3-3 触点分断，SA3-2 触点接通。在启动主轴电机后，M2 电机正转，实际中即为圆形工作台转动（此时工作台全部

操作手柄扳在零位，即 SQ1～SQ4 均不压下）。

7.8.6　X62W万能铣床电气控制线路故障及排除实训

1．实训内容

① 用通电试验方法发现故障现象，进行故障分析，并在电气原理图中用虚线标出最小故障范围。

② 按图 7-50 所示排除 X62W 万能铣床主电路或控制电路中人为设置的两个电气自然故障点。

2．电气故障的设置原则

① 人为设置的故障点必须是模拟机床在使用过程中，由于受到振动、受潮、高温、异物侵入、电动机负载及线路长期过载运行、启动频繁、安装质量低劣和调整不当等原因造成的“自然”故障。

② 切忌设置改动线路、换线、更换电器元件等由于人为原因造成的非“自然”的故障点。

③ 故障点的设置应做到隐蔽且设置方便，除简单的控制线路外，两处故障一般不宜设置在单独支路或单一回路中。

④ 对于设置一个以上故障点的线路，其故障现象应尽可能不要相互掩盖。否则，若学生在检修时虽然检查思路尚清楚，但检修到定额时间的 2/3 还不能查出一个故障点时，可作适当的提示。

⑤ 应尽量不设置容易造成人身或设备事故的故障点，若有必要，教师必须在现场密切注意学生的检修动态，随时做好采取应急措施的准备。

⑥ 设置的故障点，必须与学生应该具有的修复能力相适应。

3．实训步骤

① 先熟悉原理，再进行正确的通电试车操作。

② 熟悉电器元件的安装位置，明确各电器元件的作用。

③ 教师示范故障分析检修过程（故障可人为设置）。

④ 教师设置让学生知道的故障点，指导学生如何从故障现象着手进行分析，逐步引导到采用正确的检查步骤和检修方法上。

⑤ 教师设置人为的自然故障点，由学生检修。

4．实训要求

① 学生应根据故障现象，先在原理图中正确标出最小故障范围的线段，然后采用正确的检查和排除故障方法在额定时间内排除故障。

② 排除故障时，必须修复故障点，不得采用更换电器元件、借用触点及改动线路的方法，否则，作不能排除故障点扣分。

③ 检修时，严禁扩大故障范围或产生新的故障，并不得损坏电器元件。

5．操作注意事项

① 设备应在指导教师的指导下操作，以安全第一为原则。设备通电后，严禁在电器侧随意扳动电器件。进行排除故障训练时，尽量采用不带电检修。若带电检修，则必须有指导教师在现场监护。

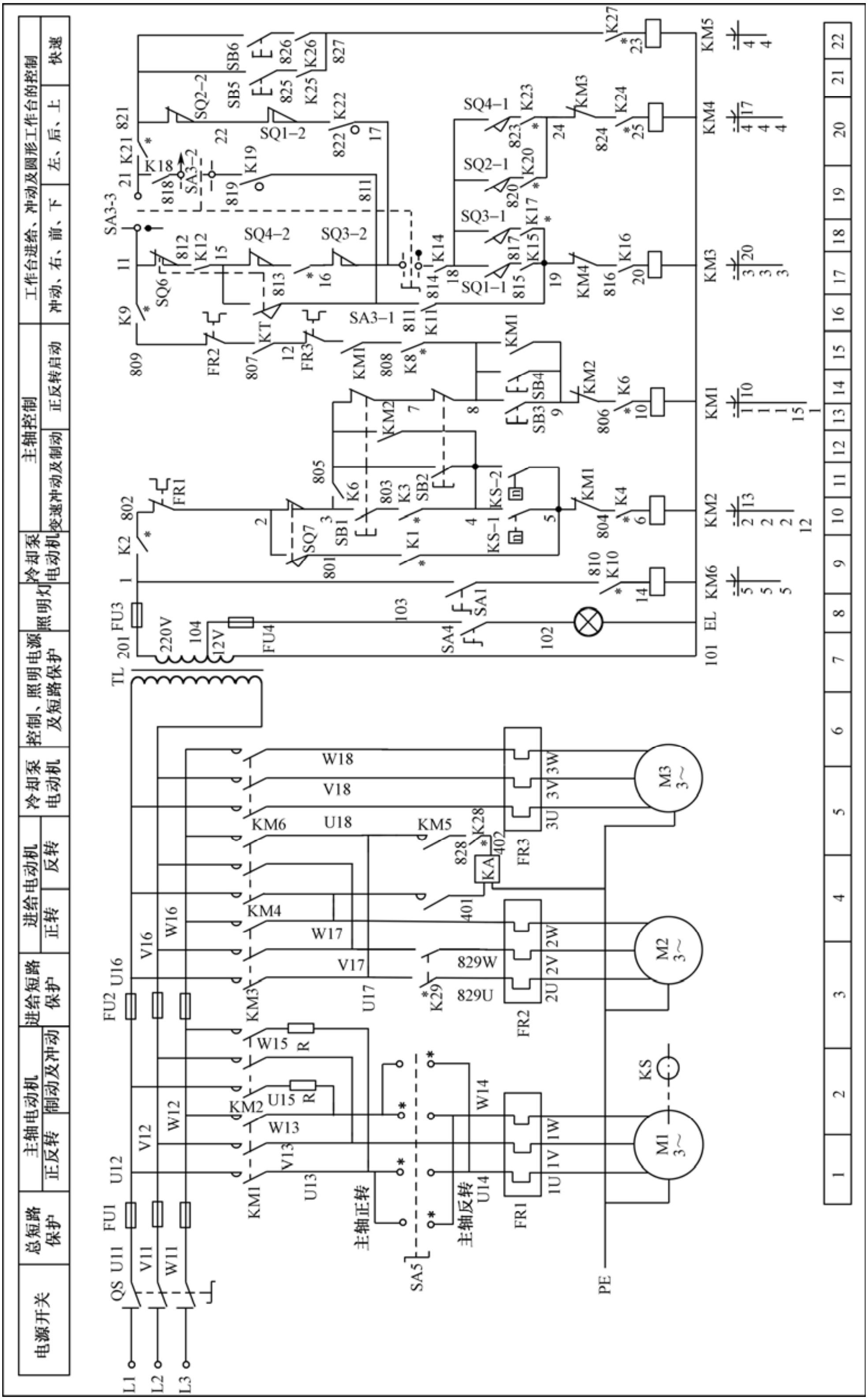


图 7-50　X62W 万能铣床电气故障原理图

② 必须安装好各电机、支架的接地线，设备下方垫好绝缘橡胶垫，厚度不小于 8mm。操作前要仔细查看各接线端，有无松动或脱落，以免通电后发生意外或损坏电器。

③ 在操作中若发出不正常声响，应立即断电，查明故障原因，等待维修。故障噪声主要来自电机缺相运行，接触器、继电器吸合不正常等。

④ 发现熔芯熔断，找出故障后，方可更换同规格熔芯。

⑤ 在维修设置故障中不要随便互换线端处的号码管。

⑥ 操作时用力不要过大，速度不宜过快；操作不宜过于频繁。

⑦ 实训结束后，应拔出电源插头，将各开关置分断位。

⑧ 做好实训记录。

7.8.7　教学演示、故障图及设置说明

X62W 万能铣床故障设置一览表见表 7-9。

表 7-9　故障设置一览表

故障 / 开关	故 障 现 象	备　　注
K1	主轴无变速冲动	主电机的正、反转及停止制动均正常
K2	正反转、进给均不能动作	照明指示灯、冷却泵电机均能工作
K3	按 SB1 停止时无制动	SB2 制动正常
K4	主轴电机无制动	按 SB1、SB2 停止时主轴均无制动
K5	主轴电机不能启动	主轴不能启动，按下 SQ7 主轴可以冲动
K6	主轴不能启动	主轴不能启动，按下 SQ7 主轴可以冲动
K7	进给电机不能启动	主轴能启动，进给电机不能启动
K8	进给电机不能启动	主轴能启动，进给电机不能启动
K9	进给电机不能启动	主轴能启动，进给电机不能启动
K10	冷却泵电机不能启动	
K11	进给变速无冲动，圆形工作台不能工作	非圆形工作台工作正常
K12	工作台不能左右进给	向上（或向后）、向下（或向前）进给正常，进给变速无冲动
K13	工作台不能左右进给、不能冲动，非圆形工作台不能工作	向上（或向后）、向下（或向前）进给正常
K14	各方向进给不工作	圆形工作台工作正常、冲动正常
K15	工作台不能向左进给	非圆形工作台工作时，不能向左进给，其他方向进给正常
K16	进给电机不能正转	圆形工作台不能工作；非圆形工作台工作时，不能向左、向上或向后进给，无冲动
K17	工作台不能向上或向后进给	非圆形工作台工作时，不能向上或向后进给，其他方向进给正常
K18	圆形工作台不能工作	非圆形工作台工作正常，能进给冲动
K19	圆形工作台不能工作	非圆形工作台工作正常，能进给冲动
K20	工作台不能向右进给	非圆形工作台工作时，不能向右进给，其他工作正常
K21	不能上下（或前后）进给，不能快进，无冲动	圆形工作台不能工作，非圆形工作台工作时，能左右进给，不能快进，不能上下（或前后）进给

续表

故障 / 开关	故障现象	备　注
K22	不能上下（或前后）进给，不能冲动，圆形工作台不工作	非圆形工作台工作时，能左右进给，左右进给时能快进；不能上下（或前后）进给
K23	不能向下（或向前）进给	非圆形工作台工作时，不能向下或向前进给，其他工作正常
K24	进给电机不能反转	圆形工作台工作正常，有冲动；非圆形工作台工作时，不能向右、向下或向前进给
K25	只能一处快进操作	进给电机启动后，按 SB5 不能快进，按 SB6 能快进
K26	只能一处快进操作	进给电机启动后，按 SB5 能快进，按 SB6 不能快进
K27	不能快进	进给电机启动后，不能快进
K28	电磁阀不动作	进给电机启动后，按下 SB5（或 SB6），KM5 吸合，电磁阀 YA 不动作
K29	进给电机不转	进给操作时，KM3 或 KM4 能动作，但进给电机不转

7.9　本章小结

本章通过几种典型机床电气控制系统的分析，进一步阐明各种典型数控机床控制系统的组成，练习阅读和分析控制线路的方法，从中找出规律，逐步提高阅读电气控制线路原理图的能力，为独立设计打下基础。

分析机床的电气控制系统时，首先应对该设备的传动系统、操作方式、电动机与电器的配置和工艺要求等有一般的了解。在此基础上，无论采用哪种读图法，都应先阅读主电路和执行元件电路，看其如何反映拖动特点及各电动机的控制和保护情况，然后再阅读控制电路，看控制线路是如何实现上述要求的。

本章所讨论的几个典型数控机床电气控制系统，有其共同的地方，也各有其特点，希望读者能掌握共性，抓住个性，加以比较和区别，以掌握本章的主要内容。

7.10　思考与练习

1．摇臂钻床 Z3040 的 PLC 控制系统有哪些特点？
2．C650 卧式车床的 PLC 控制系统有哪些特点？
3．PLC 控制电动机循环正反转与普通电气控制有何区别？
4．组合机床与普通机床电气控制系统相比较有何特点？在读图时应注意什么？

附表A　电气设备常用基本文字符号

设备、装置和元器件种类	举例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
组　件、部　件	分离元件放大器	Amplifier using discrete	A		=
		Components			
	激光器	Laser			
	调节器	Regulator			
	本表其他地方未提及的组件、部件				
	电桥	Bridge		AB	
	晶体管放大器	Transistor amplifier		AD	=
	集成电路放大器	Integrated circuit amplifier		AJ	=
	磁放大器	Magnetic amplifier		AM	=
	电子管放大器	Valve amplifier		AV	=
	印制电路板	Printed circuit board		AP	=
	抽屉柜	Drawer		AT	=
	支架盘	Rack		AR	=
非电量到电量变换器或电量到非电量变换器	热电传感器	Thermo electric sensor	B		=
	热电池	Thermocell			
	光电池	Photoelectric cell			
	测功计	Dynamometer			
	晶体换能器	Crystal transducer			
	送话器	Microphone			
	拾音器	Pick up			
	扬声器	Loudspeaker			
	耳机	Earphone			
	自整角机	Synchro			
	旋转变压器	Resolver			
	模拟和多级数字变换器或传感器（用做指示和测量）	Analogue and multiple-step digital Transducers or sensors（as used indicating measuring purposes）			
	压力变换器	Pressure transducer		BP	=
	位置变换器	Position transducer		BQ	=
	旋转变换器（测速发电机）	Rotation transducer（tacho generator）		BR	=
	温度变换器	Temperature transducer		BT	=
	速度变换器	Velocity transducer		BV	=
电容器	电容器	Capacitor	C		=
二进制元件、延迟器件、存储器件	数字集成电路和器件	Digital integrated circuits and devices	D		=
	延迟线	Delay line			
	双稳态元件	Bistable element			
	单稳态元件	Monostable element			
	磁芯存储器	Core storage			
	寄存器	Register			
	磁带记录机	Magnetic tape recorder			
	盘式记录机	Disk recorder			

续表

设备、装置和元器件种类	举　　例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
其他元器件	本表其他地方未规定的器件		E		=
	发热器件	Heating device		EH	=
	照明灯	Lamp for lighting		EL	=
	空气调节器	Ventilator		EV	=
保护器件	过电压放电器件避雷器	Over voltage discharge device Arrester	F		=
	具有瞬时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with Instantaneous action		FA	=
	具有延时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with Time-lag action		FR	=
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件	Current threshold protective device with Instantaneous and time-lag action		FS	=
	熔断器	Fuse		FU	=
	限压保护器件	Voltage threshold protective device		FV	=
发生器、发电机电源	旋转发电机 振荡器	Rotating generator Oscillator	G		=
	发生器	Generator		GS	=
	同步发电机	Synchronous generator			
	异步发电机	Asynchronous generator		GA	
	蓄电池	Battery		GB	=
	旋转式或固定式变频机	Rotating or static frequency converter		GF	=
信号器件	声响指示器	Acoustical indicator	H	HA	=
	光指示器	Optical indicator		HL	=
	指示灯	Indicator lamp		HL	=
继电器、接触器	瞬时接触继电器	Instantaneous contactor relay	K	KA	=
	瞬时有或无继电器	Instantaneous all or nothing Rellay		KA	=
	交流继电器	Alternating realy		KA	
	闭锁接触继电器（机械闭锁或永磁铁式有或无继电器）	Latching contactor realy（all-or-nothing relay with me chanical latch or permanent magnet）		KL	=
	双稳态继电器	Bistable relay		KL	=
	接触器	Contactor		KM	=
	极化继电器	Polarized relay		KP	=
	簧片继电器	Reed relay		KR	=
	延时有或无继电器	Time-delay all-or-nothing relay		KT	=
	逆流继电器	Reverse current relay		KR	=
电感器、电抗器	感应线圈	Induction coil	L		=
	线路陷波器	Line trap			
	电抗器（并联和串联）	Reactors（shunt and series）			
电动机	电动机	Motor	M		=
	同步电动机	Synchronous motor		MS	
	可做发电机或电动机的电机	Machine capable of use as a generator or motor		MG	
	力矩电动机	Torque motor		MT	

续表

设备、装置和元器件种类	举　　例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
模拟元件	运算放大器	Operational amplifier	N		=
	混合模拟/数字器件	Hybrid analogue/digital device			
测量设备、实验设备	指示器件	Indicating devices	P		=
	记录器件	Recording devices			
	积算测量器件	Integrating measuring devices			
	信号发生器	Singnal generator			
	电流表	Ammeter		PA	=
	（脉冲）计数器	（Pulse）Counter		PC	=
	电度表	Watt hour meter		PJ	=
	记录仪表	Recording instrument		PS	=
	时钟、操作时间表	Clock,Operating time meter		PT	=
	电压表	Voltmeter		PV	=
电力电路的开关器件	断路器	Circuit-breaker	Q	QF	=
	电动机保护开关	Motor protection switch		QM	=
	隔离开关	Disconnector（isolator）		QS	=
电阻器	电阻器	Resistor	R		=
	变阻器	Rheostat			
	电位器	Potentiometer		RP	=
	测量分路表	Measuring shunt		RS	=
	热敏电阻器	Resistor with inherent variability dependent on the temperature		RT	=
	压敏电阻器	Resistor with inherent variability dependent on the voltage		RV	=
控制、记忆、信号电路的开关器件选择	拨号接触器	Dial contact	S		=
	连接级	Connecting stage			
	控制开关	Control switch		SA	=
	选择开关	Selector switch		SA	=
	按钮开关	Push-button		SB	=
	机电式有或无传感器（单级数字传感器）	All-or-nothing sensors of mechanical and electronic nature（one-step digital sensors）			
	液体标高传感器	Liquid level sensor		SL	=
	压力传感器	Pressure sensor		SP	=
	位置传感器（包括接近传感器）	Position sensor （including proximity-sensor）		SQ	=
	转数传感器	Rotation sensor		SR	=
	温度传感器	Temperature sensor		ST	=
变压器	电流互感器	Current transformer	T	TA	=
	控制电路电源用变压器	Transformer for control circuit supply		TC	=
	电力变压器	Power transformer		TM	=
	磁稳压器	Magmetic stabilizer		TS	=
	电压互感器	Voltage transformer		TV	=

续表

设备、装置和元器件种类	举例		基本文字符号		IEC
	中文名称	英文名称	单字母	双字母	
调制器、变换器	鉴频器	Disoriminator			
	解调器	Demodulator			=
	变频器	Frequency changer	U		
	编码器	Coder			
	变流器	Converter			
	逆变器	Inverter			
	整流器	Rectifier	U		=
	电报译码器	Telegraph translator			
电子管、晶体管	气体放电管	Gas-discharge tube			
	二极管	Diode			
	晶体管	Transistor			=
	晶闸管	Thyristor	V		
	电子管	Electronic tube		VE	
	控制电路用电源整流器	Rectifier for control circuit supply		VC	=
传输通道、波导、天线	导　线	Conductor			
	电　缆	Cable			
	母　线	Busbar			
	波　导	Waveguide	W		=
	波导定向耦合器	Waveguide directional Couper			
	偶极天线	Dipole			
	抛物天线	Parbolic aerial			
端子、插头、插座	连接插头和插座	Connecting plug and socked			
	接线柱	Clip			=
	电缆封端和接头	Cable sealing edn and joint			
	焊接端子板	Soldering terminal strip			
	连接片	Link	X	XB	=
	测试插孔	Test jack		XJ	=
	插头	Plug		XP	=
	插座	Socket		XS	=
	端子板	Terminal board		XT	=
电气操作的机械器件	气阀	Pneumatic valve			=
	电磁铁	Electromagnet		YA	=
	电磁制动器	Electromagnetically operated brake		YB	=
	电磁离合器	Electromagnetically operated clutch	Y	YC	=
	电磁吸盘	Magnetic chuck		YH	=
	气动阀	Motor operated valve		YM	=
	电磁阀	Electromagnetically operated valve		YV	=
终端设备	电缆平衡网络	Cable balancing network			
混合变压器	压缩扩展器	Compandor			
滤波器	晶体滤波器	Crystal filter	Z		=
均衡器					
限幅器	网络	Network			

注："="表示电气设备名称与 IEC 国际电工委员会标准符合。

附表B　FX系列PLC功能指令一览表

分类	FNC No.	指令助记符	功 能 说 明	对应不同型号的 PLC				
				FX0S	FX0N	FX1S	FX1N	FX2N、FX2NC
程序流程	00	CJ	条件跳转	✓	✓	✓	✓	✓
	01	CALL	子程序调用	×	×	✓	✓	✓
	02	SRET	子程序返回	×	×	✓	✓	✓
	03	IRET	中断返回	✓	✓	✓	✓	✓
	04	EI	开中断	✓	✓	✓	✓	✓
	05	DI	关中断	✓	✓	✓	✓	✓
	06	FEND	主程序结束	✓	✓	✓	✓	✓
	07	WDT	监视定时器刷新	✓	✓	✓	✓	✓
	08	FOR	循环的起点与次数	✓	✓	✓	✓	✓
	09	NEXT	循环的终点	✓	✓	✓	✓	✓
传送与比较	10	CMP	比较	✓	✓	✓	✓	✓
	11	ZCP	区间比较	✓	✓	✓	✓	✓
	12	MOV	传送	✓	✓	✓	✓	✓
	13	SMOV	位传送	×	×	×	×	✓
	14	CML	取反传送	×	×	×	×	✓
	15	BMOV	成批传送	×	✓	✓	✓	✓
	16	FMOV	多点传送	×	×	×	×	✓
	17	XCH	交换	×	×	×	×	✓
	18	BCD	二进制转换成 BCD 码	✓	✓	✓	✓	✓
	19	BIN	BCD 码转换成二进制	✓	✓	✓	✓	✓
算术与逻辑运算	20	ADD	二进制加法运算	✓	✓	✓	✓	✓
	21	SUB	二进制减法运算	✓	✓	✓	✓	✓
	22	MUL	二进制乘法运算	✓	✓	✓	✓	✓
	23	DIV	二进制除法运算	✓	✓	✓	✓	✓
	24	INC	二进制加 1 运算	✓	✓	✓	✓	✓
	25	DEC	二进制减 1 运算	✓	✓	✓	✓	✓
	26	WAND	字逻辑与	✓	✓	✓	✓	✓
	27	WOR	字逻辑或	✓	✓	✓	✓	✓
	28	WXOR	字逻辑异或	✓	✓	✓	✓	✓
	29	NEG	求二进制补码	×	×	×	×	✓
循环与移位	30	ROR	循环右移	×	×	×	×	✓
	31	ROL	循环左移	×	×	×	×	✓
	32	RCR	带进位右移	×	×	×	×	✓
	33	RCL	带进位左移	×	×	×	×	✓
	34	SFTR	位右移	✓	✓	✓	✓	✓
	35	SFTL	位左移	✓	✓	✓	✓	✓
	36	WSFR	字右移	×	×	×	×	✓
	37	WSFL	字左移	×	×	×	×	✓
	38	SFWR	FIFO（先入先出）写入	×	×	✓	✓	✓
	39	SFRD	FIFO（先入先出）读出	×	×	✓	✓	✓

续表

分类	FNC No.	指令助记符	功 能 说 明	对应不同型号的 PLC				
				FX0S	FX0N	FX1S	FX1N	FX2N、FX2NC
数据处理	40	ZRST	区间复位	✓	✓	✓	✓	✓
	41	DECO	解码	✓	✓	✓	✓	✓
	42	ENCO	编码	✓	✓	✓	✓	✓
	43	SUM	统计 ON 位数	×	×	×	×	✓
	44	BON	查询位某状态	×	×	×	×	✓
	45	MEAN	求平均值	×	×	×	×	✓
	46	ANS	报警器置位	×	×	×	×	✓
	47	ANR	报警器复位	×	×	×	×	✓
	48	SQR	求平方根	×	×	×	×	✓
	49	FLT	整数与浮点数转换	×	×	×	×	✓
高速处理	50	REF	输入/输出刷新	✓	✓	✓	✓	✓
	51	REFF	输入滤波时间调整	×	×	×	×	✓
	52	MTR	矩阵输入	×	×	✓	✓	✓
	53	HSCS	比较置位（高速计数用）	×	✓	✓	✓	✓
	54	HSCR	比较复位（高速计数用）	×	✓	✓	✓	✓
	55	HSZ	区间比较（高速计数用）	×	×	×	×	✓
	56	SPD	脉冲密度	×	×	✓	✓	✓
	57	PLSY	指定频率脉冲输出	✓	✓	✓	✓	✓
	58	PWM	脉宽调制输出	✓	✓	✓	✓	✓
	59	PLSR	带加减速脉冲输出	×	×	✓	✓	✓
方便指令	60	IST	状态初始化	✓	✓	✓	✓	✓
	61	SER	数据查找	×	×	×	×	✓
	62	ABSD	凸轮控制（绝对式）	×	×	✓	✓	✓
	63	INCD	凸轮控制（增量式）	×	×	✓	✓	✓
	64	TTMR	示教定时器	×	×	×	×	✓
	65	STMR	特殊定时器	×	×	×	×	✓
	66	ALT	交替输出	✓	✓	✓	✓	✓
	67	RAMP	斜波信号	✓	✓	✓	✓	✓
	68	ROTC	旋转工作台控制	×	×	×	×	✓
	69	SORT	列表数据排序	×	×	×	×	✓
外部 I/O 设备	70	TKY	10 键输入	×	×	×	×	✓
	71	HKY	16 键输入	×	×	×	×	✓
	72	DSW	BCD 数字开关输入	×	×	✓	✓	✓
	73	SEGD	七段码译码	×	×	×	×	✓
	74	SEGL	七段码分时显示	×	×	✓	✓	✓
	75	ARWS	方向开关	×	×	×	×	✓
	76	ASC	ASCII 码转换	×	×	×	×	✓
	77	PR	ASCII 码打印输出	×	×	×	×	✓
	78	FROM	BFM 读出	×	✓	×	✓	✓
	79	TO	BFM 写入	×	✓	×	✓	✓

续表

分类	FNC No.	指令助记符	功 能 说 明	对应不同型号的 PLC				
				FX0S	FX0N	FX1S	FX1N	FX2N、FX2NC
外围设备	80	RS	串行数据传送	×	✓	✓	✓	✓
	81	PRUN	八进制位传送（#）	×	×	✓	✓	✓
	82	ASCII	十六进制数转换成 ASCII 码	×	✓	✓	✓	✓
	83	HEX	ASCII 码转换成十六进制数	×	✓	✓	✓	✓
	84	CCD	校验	×	✓	✓	✓	✓
	85	VRRD	电位器变量输入	×	×	✓	✓	✓
	86	VRSC	电位器变量区间	×	×	✓	✓	✓
	87	—	—					
	88	PID	PID 运算	×	×	✓	✓	✓
	89	—	—					
浮点数运算	110	ECMP	二进制浮点数比较	×	×	×	×	✓
	111	EZCP	二进制浮点数区间比较	×	×	×	×	✓
	118	EBCD	二进制浮点数→十进制浮点数	×	×	×	×	✓
	119	EBIN	十进制浮点数→二进制浮点数	×	×	×	×	✓
	120	EADD	二进制浮点数加法	×	×	×	×	✓
	121	EUSB	二进制浮点数减法	×	×	×	×	✓
	122	EMUL	二进制浮点数乘法	×	×	×	×	✓
	123	EDIV	二进制浮点数除法	×	×	×	×	✓
	127	ESQR	二进制浮点数开平方	×	×	×	×	✓
	129	INT	二进制浮点数→二进制整数	×	×	×	×	✓
	130	SIN	二进制浮点数 Sin 运算	×	×	×	×	✓
	131	COS	二进制浮点数 Cos 运算	×	×	×	×	✓
	132	TAN	二进制浮点数 Tan 运算	×	×	×	×	✓
数据交换	147	SWAP	高低字节交换	×	×	×	×	✓
定位	155	ABS	ABS 当前值读取	×	×	✓	✓	×
	156	ZRN	原点回归	×	×	✓	✓	×
	157	PLSY	可变速的脉冲输出	×	×	✓	✓	×
	158	DRVI	相对位置控制	×	×	✓	✓	×
	159	DRVA	绝对位置控制	×	×	✓	✓	×
时钟运算	160	TCMP	时钟数据比较	×	×	✓	✓	✓
	161	TZCP	时钟数据区间比较	×	×	✓	✓	✓
	162	TADD	时钟数据加法	×	×	✓	✓	✓
	163	TSUB	时钟数据减法	×	×	✓	✓	✓
	166	TRD	时钟数据读出	×	×	✓	✓	✓
	167	TWR	时钟数据写入	×	×	✓	✓	✓
	169	HOUR	计时仪	×	×	✓	✓	
外围设备	170	GRY	二进制数→格雷码	×	×	×	×	✓
	171	GBIN	格雷码→二进制数	×	×	×	×	✓
	176	RD3A	模拟量模块（FX0N-3A）读出	×	✓	×	✓	×
	177	WR3A	模拟量模块（FX0N-3A）写入	×	✓	×	✓	×

续表

分类	FNC No.	指令助记符	功 能 说 明	对应不同型号的 PLC				
				FX0S	FX0N	FX1S	FX1N	FX2N、FX2NC
触点比较	224	LD=	（S1）=（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	225	LD>	（S1）>（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	226	LD<	（S1）<（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	228	LD<>	（S1）<>（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	229	LD≤	（S1）≤（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	230	LD≥	（S1）≥（S2）时起始触点接通	×	×	✓	✓	✓
	232	AND=	（S1）=（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	233	AND>	（S1）>（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	234	AND<	（S1）<（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	236	AND<>	（S1）<>（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	237	AND≤	（S1）≤（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	238	AND≥	（S1）≥（S2）时串联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	240	OR=	（S1）=（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	241	OR>	（S1）>（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	242	OR<	（S1）<（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	244	OR<>	（S1）<>（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	245	OR≤	（S1）≤（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓
	246	OR≥	（S1）≥（S2）时并联触点接通	×	×	✓	✓	✓

参 考 文 献

[1] 杨克冲．数控机床电气控制．武汉：华中科技大学出版社，2005．
[2] 邱公伟．可编程控制器网络通信及应用．北京：清华大学出版社，2000．
[3] 邹益仁，等．现场总线控制系统的设计和开发．北京：国防工业出版社，2003．
[4] 中国标准出版社．电气简图用图形符号国家标准汇编．北京：中国标准出版社，2001．
[5] 陈在平，等．可编程序控制器技术与应用系统设计．北京：机械工业出版社，2002．
[6] 宫淑贞，等．可编程控制器原理及应用．北京：人民邮电出版社，2002．
[7] 方承远．电气控制原理与设计．北京：机械工业出版社，2000．
[8] 马小军．建筑电气控制技术．北京：机械工业出版社，2003．
[9] 陈吉红，等．数控机床实验指南．武汉：华中科技大学出版社，2003．
[10] 中国机械工业标准汇编．数控机床卷（上）．北京：中国标准出版社，2003．
[11] 周济．数控加工技术．北京：国防工业出版社，2002．
[12] 王爱玲，等．现代数控原理及控制系统．北京：国防工业出版社，2002．
[13] 瞿大中，等．可编程控制器应用与实验．武汉：华中科技大学出版社，2002．
[14] 夏庆观．数控机床故障诊断与维修．北京：高等教育出版社，2002．
[15] 陈力定，等．电气控制与可编程控制器．广州：华南理工大学出版社，2001．
[16] 胡学林．可编程控制器应用技术．北京：高等教育出版社，2001．
[17] 李宏胜．机床数控技术及应用．北京：高等教育出版社，2001．
[18] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION．FX-PCS/WIN-C 软件手册，1997．
[19] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION．FX 系列编程手册，2001．
[20] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION．FX2N 编程手册，2000．
[21] MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION．FX 系列用户手册，2001．